

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky

Využití stavebního recyklátu v dopravních stavbách

Use of recycled building material in road constructions

Bakalářská práce

Petra Rotová



Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Král

Praha 2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci zpracovala samostatně. Použila jsem pouze své laboratorní výsledky a všechny použité informační zdroje a literatura jsou uvedeny v seznamu literatury. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 4.června 2012

Petra Rotová

.....

Poděkování:

Tímto bych především ráda poděkovala svému školiteli, RNDr. Janu Královi, za příkladné vedení této bakalářské práce, za odbornou pomoc při její tvorbě, za velikou ochotu, přívětivost, nedocenitelné rady a konzultace. Také bych ráda poděkovala svému dědečkovi, Ing. Jaroslavu Bezděkovi, CSc., za veškeré poskytnuté materiály, odborné informace, cenné rady z praxe, za vstřícnost a spolupráci. Děkuji Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze za to, že mi umožnila studovat zde geologii a všem profesorům, kteří mě učili a předali mi hodnotné znalosti.

A v neposlední řadě patří poděkování i členům mé rodiny za jejich trpělivost a psychickou podporu.

ABSTRAKT:

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi a způsoby opětovného využití recyklovaných a druhotných materiálů v dopravním stavitelství. Jedná se o práci z velké části rešeršního charakteru, která shrnuje a hodnotí materiály vhodné k použití místo přírodního stavebního materiálu do různých vrstev komunikací, pro jejich obnovu a rekonstrukci, ale i pro budování nových dopravních staveb. Opírá se především o odbornou literaturu, články a informace z konferencí.

V práci je uveden příklad z praxe - použití recyklátů a druhotných surovin ve stavbě dálnice D47 a problémy s tím spojenými. Práce je doplněna vlastní laboratorní zkouškou zrnitostního složení a zhutňovací zkouškou vzorku strusky z tepelné elektrárny Opatovice.

ABSTRACT:

This thesis deals with the possibilities and ways of re-use of recycled and secondary materials in road constructions. It is based primarily on research and summarizes and evaluates the materials suitable for use in different layers of highway constructions as a replacement for natural building materials. It deals with the use of these materials in the rehabilitation and reconstruction as well as new construction of highways. The sources of this research are mainly technical literature, articles, and information from conferences.

This paper includes a practical example - the use of recycled and secondary materials in the construction of freeway D47 and the problems associated with this project. It is also complemented by its own particle size composition and compaction laboratory tests of sample slag from the Opatovice thermal power plant.

OBSAH:

1. ÚVOD A CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	1
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	1
2.1. Péče o životní prostředí ve stavebnictví.....	1
2.2. Přírodní stavební materiály pro násypy a podkladní vrstvy komunikací.....	2
2.3. Stavební recykláty a druhotné suroviny v dopravních stavbách.....	3
2.3.1. Proč využívat stavební recykláty a druhotné suroviny v dopravním stavitelství ?.....	4
2.3.2. Pozemní komunikace.....	5
2.3.3. Přechodová oblast mostů.....	8
2.4. Druhotné stavební materiály v dopravních stavbách.....	9
2.4.1. Popel a popílek.....	11
2.4.2. Struska.....	13
2.4.3. Hlušiny z těžby užitkových nerostů.....	14
2.5. Recyklované stavební materiály v dopravních stavbách.....	15
2.5.1. Stavební a demoliční materiály.....	15
2.5.2. Recyklace za studena.....	23
2.6. Znovuvyužití starých bitumenových směsí při výstavbě komunikací.....	24
2.6.1. Způsoby získávání a skladování starých bitumenových směsí.....	25
2.6.2. Technologie opětovného zpracování starých bitumenových směsí.....	25
2.6.2.1. Technologie pro obnovování obrusných vrstev za tepla bez přidání asfaltové směsi.....	25
2.6.2.2. Technologie obnovy krytu za tepla s přidáním nové asfaltové směsi.....	26
2.6.2.3. Technologie recyklování starých bitumenových směsí v obalovacích soupravách.....	26
3. DÁLNIČNICE D47.....	27
3.1. Deformace v úseku D4708.2 a v přechodové oblasti mostů SO 8216 a 8220 na dálnici D47.....	27
4. PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
4.1. Zrnitostní zkouška.....	34
4.1.1. Sítový rozbor.....	34
4.1.2. Hustoměrná (areometrická) zkouška.....	35
4.1.3. Vyhodnocení zrnitostní zkoušky.....	35
4.2. Zkouška relativní ulehlosti.....	38
4.2.1. Stanovení maximální pórovitosti (n max).....	38
4.2.2. Stanovení minimální pórovitosti (n min).....	39
4.2.3. Výpočet relativní ulehlosti.....	39
4.2.4. Vyhodnocení zkoušky relativní ulehlosti.....	39
4.3. Závěr praktické části.....	40
5. ZÁVĚR.....	41
6. LEGISLATIVA.....	41
7. POUŽITÁ LITERATURA.....	43

1. ÚVOD A CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Současný rozvoj průmyslu se vyznačuje zvýšeným množstvím odpadů. Pouhé ukládání odpadů na skládky znamená značný zábor půdy. Proto se rozvíjí technologie, které využívají recykláty. Tím dochází k značné úspoře primárních surovin, zejména kameniva. Vhodným využitím recyklátů jsou zejména dopravní stavby, kde jsou použitelné do jednotlivých vrstev komunikací a slouží k obnově, rekonstrukci, ale i pro stavbu nových vozovek, mostů apod. Recykláty ovšem musí splňovat požadavky kladené na stavební hmoty používané při výstavbě komunikací. Recykláty mohou mít proměnné vlastnosti. Proto jejich použití vyžadují náročnější laboratorní zkoušky a dokonalejší technologie.

Cíle práce:

- Cílem práce bylo shrnutí možností a způsobů opětovného využití recyklovaných a druhotných materiálů v dopravním stavitelství.
- Součástí teoretické řešeršní části bylo rovněž shrnutí praktického příkladu z praxe.
- Práce měla být doplněna také o praktickou část – vlastní laboratorní analýza na vybraném vzorku strusky.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1. Péče o životní prostředí ve stavebnictví

Zkušenosti každodenního života ukazují, že je kolem nás stále ještě dost ekologické negramotnosti, protože nemálo lidí vlivy zhoršeného životního prostředí podceňuje. Tito lidé berou ekologické problémy jen jako cosi vnějšího, jako problémy prostředí samotného, které se jejich činností netýkají. Také se zřídka stává, že bývá i pro některé řídící pracovníky podnikový zájem přednější než společenský, když se požadavky plnění výrobních úkolů dostávají do zdánlivého střetu s potřebou ochrany životního prostředí. Možná, že se tím dosahuje sice určitých okamžitých ekonomických výhod, avšak ve svém důsledku to má jen negativní dopady. Z celospolečenského pohledu jde opravdu jen o zdánlivé střety, protože jednoznačně platí, že co není ekologické, není ani ekonomické (International Congress, 2011).

Péče o životní prostředí podléhá zákonu č. 17/1992 Sb. a zákonu č. 100/2001 Sb.

Problematika stavebnictví se podle Loveček a kol. (1989) projevuje v životním prostředí především:

- narušením přírody těžbou surovin, výkopy, násypy, tunelováním apod.,
- zvýšenými emisemi hluku, prachu, plyných exhalací a dalších negativních faktorů v průběhu výstavby,
- zlepšením životního prostředí obyvatel při užívání dokončených staveb,
- negativními vlivy při údržbě staveb,
- poruchami staveb vzniklými zejména nedostatečnou projektovou přípravou, těžkou nákladní dopravou, chybami při realizaci a chybami při užívání,

- ovlivněním hydrogeologických poměrů, zabíráním zemědělské půdy, poškozením biotopu živočichů a rostlin a kácením vegetace.

Manipulací s recyklovanými a druhotnými stavebními materiály může docházet ke znečišťování ovzduší. Ve vztahu k používání recyklátu a druhotné suroviny je zhotovitel dle zákona č. 86/2002 Sb. povinen podle Loveček a kol. (1989) zejména dbát na to, aby:

- všechna pracoviště byla udržována v čistotě,
- pojížděné zpevněné plochy byly pravidelně čištěny,
- pojížděné nezpevněné plochy byly ošetřovány (např. kropením) s cílem omezit prašnost na nejmenší možnou míru,
- řádnou organizací prací, užitím odpovídající mechanizace a použitím ochranných prostředků byla omezena prašnost při manipulaci s výše uvedeným materiálem na nejmenší možnou míru,
- veřejné komunikace u vjezdů na staveniště, případně jejich úseky používané staveništní dopravou byly chráněny před znečištěním a řádně udržovány.

2.2. Přírodní stavební materiály pro násypy a podkladní vrstvy komunikací

Podle Herle a kol. (2012) jsou přírodním stavebním materiálem pro komunikace zejména zeminy získané na stavbě. Jejich použití je upraveno v novelizované ČSN 73 6133. Tato norma zeminám přiřazuje jednoznačně vhodnost a použitelnost za stanovených podmínek do násypů pozemních komunikací. Obsahuje kritéria zemin (granulometrické složení, fyzikální vlastnosti), namrzavost a odolnost proti namrzání, možnost vztlínání, hladinu podzemní vody apod. Obsahuje zatřídění zemin z hlediska zrnitosti, plasticity, konzistence apod. Zeminy jsou zde rozděleny do 3 skupin podle vhodnosti do násypu pozemní komunikace na zeminu vhodnou, podmíněčně vhodnou a nevhodnou, které jsou uvedeny v (Tab. 1), (Herle a kol., 2012).

Kamenivo – přírodní (umělý) zrnitý materiál těžený (drcený), svou zrnitostí a tvarem vhodný pro daný účel použití (ČSN 72 2071).

Tab. 1: Vhodnost zemin pro pozemní komunikace (upraveno podle Herle a kol., 2012).

Pořadové číslo	Název zeminy	Vhodnost do násypu			Vhodnost pro podloží vozovky (pro aktivní zónu)		
		nevhodná	podmínečně vhodná	vhodná	nevhodná	podmínečně vhodná	vhodná
1	Hlína štěrkovitá		X			X	
2	Jíl štěrkovitý		X			X	
3	Hlína písčitá I		X			X	
4	Hlína písčitá II	X			X		
5	Jíl písčitý I		X			X	
6	Jíl písčitý II	X			X		
7	Hlína s nízkou plasticitou		X		X		
8	Hlína se střední plasticitou		X		X		
9	Jíl s nízkou plasticitou		X		X		
10	Jíl se střední plasticitou		X		X		
11	Hlína s vysokou plasticitou	X			X		
12	Hlína s velmi vysokou plasticitou	X			X		
13	Hlína s extrémně vysokou plasticitou	nelze ani upravit			nelze ani upravit		
14	Jíl s vysokou plasticitou	X			X		
15	Jíl s velmi vysokou plasticitou	X			X		
16	Jíl s extrémně vysokou plasticitou	nelze ani upravit			nelze ani upravit		
17	Písek dobře zrněný			X			X
18	Písek špatně zrněný			X			X
19	Písek s příměsí jemnozrné zeminy			X		X	
20	Písek hlinitý		X			X	
21	Písek jílovitý		X			X	
22	Štěrka dobře zrněná			X			X
23	Štěrka špatně zrněná			X			X
24	Štěrka s příměsí jemnozrné zeminy			X			X
25	Štěrka hlinitá		X			X	
26	Štěrka jílovitá		X			X	

Pokud inženýrsko – geologický průzkum zjistí nevhodnost použití přírodních surovin, je nutné ho upravit (zlepšená zemina) nebo nahradit recyklátem nebo druhotnou surovinou, která svými vlastnostmi musí odpovídat těm zeminám, které jsou alespoň podmínečně vhodné (Loveček a kol., 1989).

Zlepšená zemina – pro mechanické zlepšení zeminy lze použít příměs zeminy nebo jiné sypaniny vhodné zrnitosti a vlhkosti nebo upravit stabilizací - voda a pojivo (ČSN 73 6133).

Pojivo – pro zlepšení zemin je dovoleno použít tato pojiva: vápno, cement, popílky vyhovující požadavkům ČSN 72 2060 a ČSN 72 2065 a další pojiva dle ČSN 73 6133 (ČSN 73 6133).

2.3. Stavební recykláty a druhotné suroviny v dopravních stavbách

Recyklát – je starý stavební odpad, který se nadrtí a následně vytřídí a upraví. Tato surovina se poté dá opět využít a nahradit tak přírodní surovinu ve stavitelství. Je vyráběný zpracováním kvalitního materiálu z demolic vozovek, pozemních a inženýrských staveb (Momber, 2005).

Druhotná surovina – vedlejší produkt výrobního procesu, popř. rozrušený stavební materiál vzniklý fyzickou likvidací stavebních konstrukcí, použitelný jako sypanina v původním, anebo v upraveném stavu jako náhrada přírodní suroviny. Příkladem druhotné suroviny je popílek a/nebo popel, hlušina, materiály z rozrušených vozovek, popř. i pozemních staveb apod. (ČSN 73 6133).

Odpad - je movitá věc, které se člověk zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. S vyprodukovaným odpadem je třeba nějakým způsobem naložit (zákon č. 185/2001 Sb.), kde jsou uvedeny i příslušné definice a povinnosti týkající se odpadů v České republice.

2.3.1. Proč využívat stavební recykláty a druhotné suroviny v dopravním stavitelství ?

Recykláty a druhotné suroviny se místo přírodních stavebních materiálů použijí v případě jejich nedostatku - pokud je třeba většího objemu násypů, než je vykopané zeminy.

Zvyšováním těžebních prací a následné průmyslové výroby se však soustavně zvyšuje i množství odpadních produktů. Omezováním vzniku odpadů a jejich využitím jako zdrojů druhotných surovin a energie snižuje nežádoucí působení odpadů na přírodní složky životního prostředí a šetří prvotní surovinové zdroje. Technologie recyklování tak znamená pozitivní přínos k tvorbě a ochraně životního prostředí. Snižují se tedy i náklady na následnou rekultivaci a není tolik potřebné vytvářet skládky, což se projevuje mimo jiné ve snížení záboru zemědělské půdy, snížením těžké nákladní dopravy, prašnosti a hluku (Kuraš, 1994).

Racionální hospodaření (nakládání, zacházení) s odpady a druhotnými surovinami zahrnuje činnost související s jejich shromažďováním, překládáním, svozem, využíváním, komplexním zpracováním nebo jejich nezávadným zneškodněním. Zacházení s tímto materiálem proto tvoří nedílnou součást péče o životní prostředí a racionální využívání přírodních zdrojů. Současně přispívá k vyššímu zhodnocování surovinových zdrojů (Hospodaření s druhotnými surovinami, 1989).

Využití druhotných surovin patří k základním úkolům rozvinutého světa. Česká republika patřila a patří k průkopníkům ve využití druhotných surovin v zemních pracích, a to nejen v dopravním stavitelství, kde jsou největší objemy prací, ale i v dalších oblastech stavební činnosti – pozemní stavby, rekultivace a úprava krajiny.

Praha má z hlediska hospodaření s odpady specifické podmínky. Výskyt nejrozličnějších starých zátěží, často toxických odpadů z průmyslové a stavební výroby, omezené možnosti skládkování a další nepříznivé skutečnosti vyžadují, aby byl soustavně omezován vznik odpadů, popřípadě aby byl zvyšován objem odpadů využívaných jako stavební recyklát nebo druhotná surovina (Rada pro druhotné suroviny a odpady, 2011).

Velkou výhodou použití recyklátů (v případě uhelné hlušiny a strusek) je ta, že zemní tělesa z těchto materiálů lze provádět i ve zhoršených klimatických podmínkách (zimní měsíce).

Společnou vlastností všech druhotných materiálů je v převážné míře nevhodné zrnitostní složení, případně obsah nevhodných příměsí. Základním předpokladem pro jejich širší využívání je tak jejich úprava, tj. předrcení a třídění. To si vyžaduje vhodné úpravárenské zařízení. Vybudování takovýchto

zařízení je závislé na dostatečném množství produktů a odpadů, které mají vytvořené předpoklady pro ekonomické využívání (Raclavská a kol., 1995).

Snahou projektanta komunikace jsou již v přípravě snahy o dosažení vyrovnané bilance zemin. To znamená, aby objem vykopaných zemin se blížil nebo vyrovnal potřebě na násypy a ostatní hrubé terénní úpravy (HTU). V případě, že objem výkopů je větší, je nutno nalézt vhodnou skládku. V případě, že je větší objem násypů, je třeba zajistit vhodnou náhradu. Pokud je možno nedostatek zemin nahradit recyklátem nebo druhotným materiálem, jedná se většinou o nejlevnější a nejekologičtější řešení. Na takové materiály se kladou určité požadavky při úvaze na jejich využití do násypů, zásypů a konstrukčních vrstev na komunikačních stavbách nebo do přechodového klínu mostů. Mimo ceny, která je ovlivněna dopravní vzdáleností, je to jejich ekologická nezávadnost, skladovatelnost a zpracovatelnost (Murthy, 2003; Lancellotta, 1995).

Producenti těchto odpadních materiálů, pokud je chtějí uvést na trh jako druhotnou surovinu, musí jejich kvalitu a složení garantovat certifikátem. Certifikát je výsledkem souboru průkazných a kontrolních (výrobních) zkoušek autorizovanou osobou o shodě se specifikovanými požadavky. Vydání certifikátu probíhá v souladu s nařízením vlády č. 312/2005 Sb. a vyhláškami č. 294/2005 Sb. a 383/2001 Sb. Autorizovaná osoba v certifikátu potvrzuje, že přezkoumala podklady předložené výrobcem, provedla zkoušku typu na vzorku a posoudila systém řízení výroby. Nedílnou součástí je protokol o výsledku certifikace, který obsahuje závěry zjišťování, ověřování, výsledky zkoušek a základní popis certifikovaného výrobku nezbytné pro jeho identifikaci. Provádí se kontrolní zkoušky zrnitosti, vlhkosti, zhutnitelnosti a max – min ulehlosti. Není-li zkouškami potvrzena shoda s výsledky geotechnického průzkumu, je nutné použít jiný materiál a je nutné jeho vhodnost opět ověřit (Raclavská a kol., 1995).

Kvalitu kameniva z vedlejších produktů průmyslové výroby ovlivňují: technologické procesy výroby, kvalitativní vlastnosti vstupních surovin a rozsah a kvalita úpravářských procesů po sekundárním zpracování (Murthy, 2003).

2.3.2. Pozemní komunikace

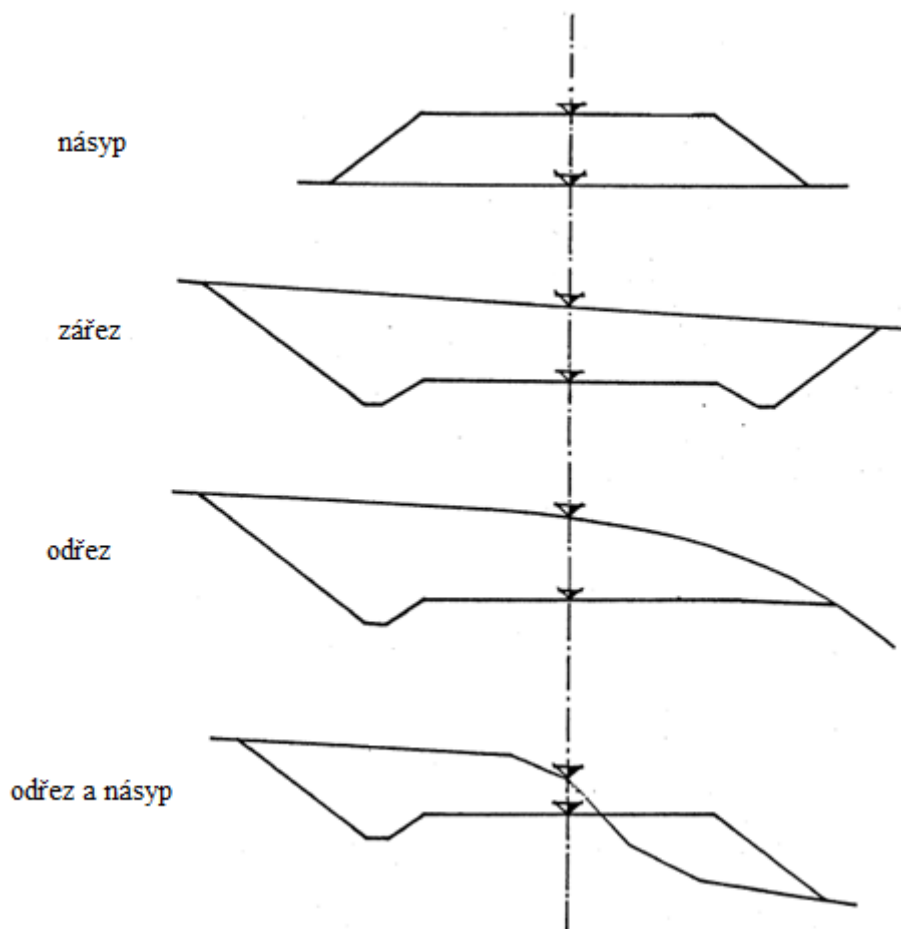
Pozemní komunikace je dopravní cesta určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci, včetně pevných zařízení nutných pro zajištění tohoto užití a jeho bezpečnosti. Pozemní komunikace se dělí na kategorie *dálnice, silnice, místní komunikace a účelové komunikace* (Ježková a kol., 2006).

Rozdělení pozemních komunikací, jejich stavbu, podmínky užívání a jejich ochranu, ale i práva a povinnosti vlastníků pozemních komunikací a jejich uživatelů a výkon státní správy ve věcech pozemních komunikací příslušnými silničními správními úřady upravuje zákon č. 13/1997 Sb. v platném znění a vyhláška č. 104/1997, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích (Rozsypal, 2008).

Vrstvy pozemní komunikace:

- *Zemní těleso* – je součástí pozemní komunikace, tvořící spodní stavbu vozovky v kontaktu s terénem. Jeho částmi jsou: násyp, zářez, odřez (včetně svahů) a kombinace odřezu a násypu (Obr. 1). Do zemního tělesa se zahrnuje pouze hloubka, do níž zasahují případné stavební

úpravy (např. svislé drény, náhrada nevhodné zeminy do stanovené hloubky apod.), (ČSN 73 6133).



Obr. 1: Spodní stavba zemního tělesa pod pozemní komunikací (upraveno podle Mahdalová, 2006).

Návrh stavby zemního tělesa musí respektovat zásady, požadavky a konstrukční pokyny podle ČSN 73 6101. Znalosti geologických poměrů a fyzikálně mechanických vlastností zemín, hornin a druhotných materiálů se získávají geotechnickým průzkumem v souladu s TP 76 (73 6101).

- *Podloží násypu* – je část terénu (horní plocha zemního tělesa) po odstranění orniční vrstvy, tvořící základ násypu. Podloží násypu se zpravidla omezuje hloubkou, do níž působí vlivy přitížení násypem (ČSN 73 6133). Nevhodnou zeminu v podloží je dovoleno nahradit i jinými úpravami, např. stabilizovaný popel a/nebo popílek, avšak za předpokladu, že tyto materiály v žádném případě nepříjdou do styku s podzemní vodou (ČSN 72 2071; ČSN 73 6101).
- *Aktivní zóna (podloží vozovky)* - je horní vrstva zemního tělesa v násypu i zářezu, o tloušťce zpravidla 0,5 m, do níž zasahují vlivy zatížení z konstrukce vozovky a klimatické změny. Tyto vlivy mohou vést ke změnám fyzikálních a mechanických vlastností materiálů, z nichž je tato vrstva složena. Pro tuto vrstvu se požadují přísnější kvalitativní parametry oproti ostatním částem zemního tělesa a její zpracování se řídí podle požadavků (ČSN 73 6133; TP 170).
- *Zemní pláň* – je plocha uzavírající zemní těleso ve styku s vozovkou. Tvoří horní líc aktivní zóny. Pláň je upravena do příslušného spádu a hutněna na základní hodnotu danou projektem. Zatěžovací zkoušky míry zhutnění pláně se provádějí ocelovou statickou deskou pomocí

bagru, válce nebo plně naloženého automobilu. Deska je zatlačována ve dvou větvích (2 krát) do země. Míra zhutnění je kontrolována zkušebními, její hodnota (napětí, kterým zemina vzdorovala) se udává modulem deformace z druhé větve zatěžovací zkoušky. Při dodržení vzájemného poměru hodnot mezi druhou a první zkouškou. Pokud zkouška vyhoví v takovémto rozsahu, mohou se opatrně dávat konstrukce. Když zkouška ale nevyhoví, plán se musí upravit nebo stabilizovat (zhutnit). Výsledky zkoušek jsou pak hlavním kritériem pro převzetí pláň investorem (ČSN 73 6133).

- *Paraplán* – je povrch zemního tělesa před vytvořením aktivní zóny (ČSN 73 6133).
- *Násyp* - je geotechnická konstrukce postavená na upraveném nadloží pláň (Obr. 2), vzniklá nasypáním materiálu - obvykle zemina, kamenivo, hlušina a jiné materiály zpracované zpravidla hutněním při vlhkosti, která je blízká vlhkosti optimální. U silničních staveb slouží jako podklad silnice, pokud je třeba vyrovnat terén do určité nivelety (výšky). Konstruktivní částí násypu je aktivní zóna, tvořící podloží vozovky (ČSN 73 6133).
- Do násypů je přenášeno nejmenší zatížení z dopravy, do konstrukčních vrstev naopak nejvíce, proto je **využití recyklátů a druhotného materiálu do násypů nejvhodnější a nejpoužívanější** (Herle a kol., 2012). Podle ČSN 73 6133 platí pro navrhování a provádění násypu obecné ustanovení ČSN 73 6101.
- *Ochranná vrstva* – je to vrstva lomového, drceného kamene nebo šterkopísku. Jedná se o ochrannou vrstvu, která zabraňuje vnikání zeminy z podloží do konstrukce. Díky mezerovitosti plní i funkci plošné drenáže, protože zabraňuje kapilárnímu vztlínání vody do podkladních, nosných vrstev komunikace (ČSN 73 6133).
- *Podkladní vrstvy* - tyto vrstvy tvoří kamenivo, které může být prolito hydraulickými pojivy, jako je cementová malta, cemento-popílková suspenze apod. Pak se jedná o kamenivo zpevněné cementem (KZC) nebo o kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí (KAPS), tekutý asfalt, nebo je přímo obaleno asfaltem. Tomu se pak říká „obalované kamenivo“, (dále jen OK). Zvýšení vzájemné adheze zrn napomáhá možnosti zhutnit vrstvu, více než lze běžné kamenivo stejné frakce. V případě vysoké zátěže komunikace může být tato vrstva i z plnohodnotného betonu. Tato vrstva je hlavním nosným prvkem budoucí silnice (ČSN 73 6133).
- *Ložná vrstva* - podle druhu finální, ohrusné vrstvy může být použit asfaltový beton (dále jen AB) hrubozrnný (dále jen ABH) nebo střednězrnný (dále jen ABS) nebo podkladní, cementový beton. Tato vrstva je také hutněná a vyztužuje poslední, ohrusnou vrstvu a přenáší na podkladní vrstvy mechanické namáhání (ČSN 73 6133).
- *Ohrusná vrstva* - ta je tvořena buď asfaltobetonovou nebo cementobetonovou vrstvou, která je svými vlastnostmi přizpůsobena poježdění vozidly. Tato vrstva chrání konstrukci před klimatickými vlivy a nepropouští vodu. Všechny tyto vrstvy obsahují dálnice a silnice těch nejvyšších kategorií nebo silnice s předpokládaným těžkým provozem vzhledem k charakteru okolního průmyslu. Podle určení komunikace se v souladu s požadavky normy omezuje nebo úplně vypouští ochranná vrstva, kterou nahrazuje modifikovaná vrstva podkladní (ČSN 73 6133).

Vozovka - je zpevněná část pozemní komunikace určená k poježdění vozidel. Je to obvykle vícevrstvá konstrukce ležící na pláni zemního tělesa a umožňující svou únosností a rovným povrchem hospodárnou a bezpečnou dopravu návrhovou rychlostí po celou dobu své životnosti (ČSN 73 6133).

Konstrukční vrstva vozovky - je část vícevrstvého systému vozovky vytvořená jedním druhem technologického postupu. Technické požadavky na materiály a provedení jednotlivých konstrukčních vrstev vozovky jsou uvedeny v ČSN 73 6121 až ČSN 73 6131 a TP 170. Konstrukční vrstva je zpravidla tvořena krytem, podkladem a ochrannou vrstvou a leží na upraveném podloží (ČSN 73 6133).

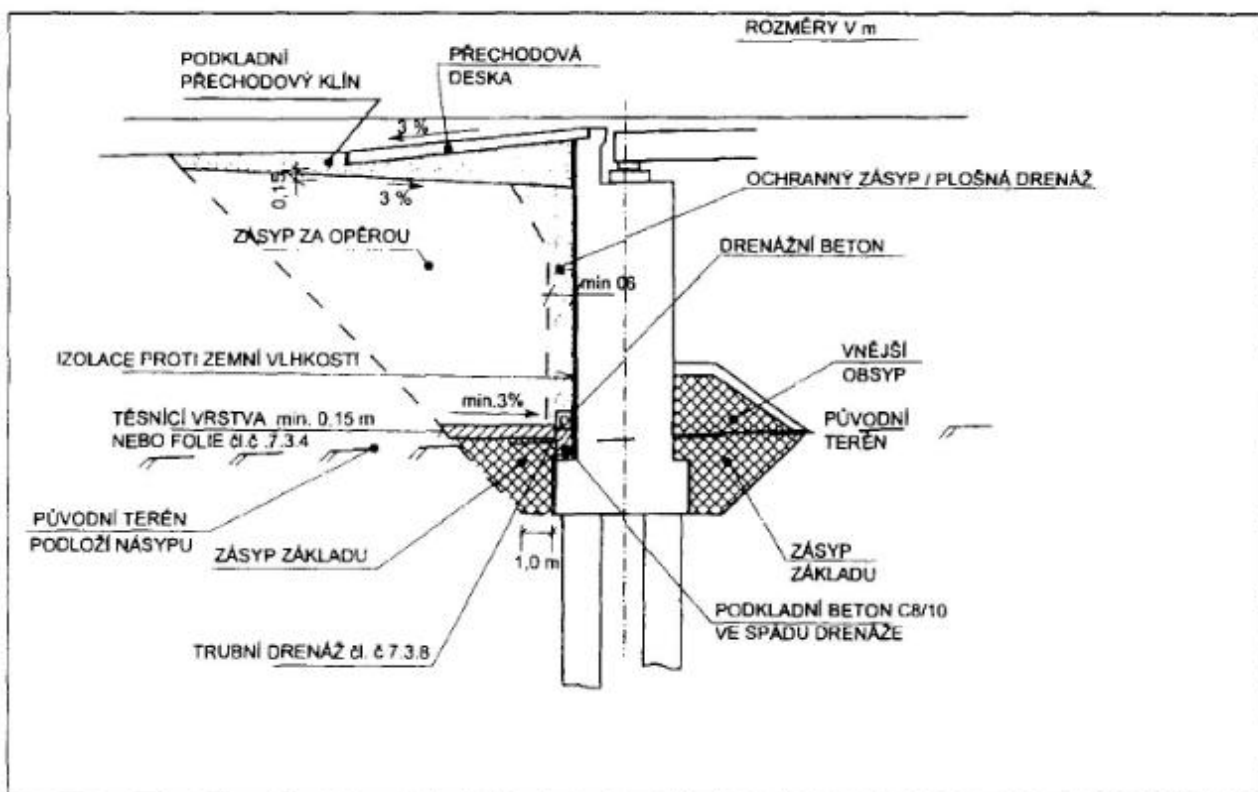
2.3.3. Přechodová oblast mostů

Mostní objekt - je objekt, který nahrazuje zemní těleso v místě, kde je třeba překonat přírodní nebo umělou překážku přemostěním. Mostní objekty se dělí na mosty (světlost otvoru alespoň 2,01m), propustky (světlost otvoru do 2m včetně) a lávky. Zatížení mostů dopravou se řídí podle ČSN EN 1991-2 (Herle a kol., 2012).

Přechodová oblast mostů (přechod) - je část zemního tělesa přiléhající k opěře mostu nebo vnějšímu pilíři mostu na jedné straně a navazující na běžné násypové těleso na straně druhé (Obr. 2). Oblast je složená z konstrukčních prvků (částí), jako jsou např. zásyp, ochranný obsyp, násyp, přechodový klín, přechodová deska, ochranná vrstva izolace, těsnicí vrstva, odvodnění rubu opěry, apod., včetně příslušné aktivní zóny a vozovky (ČSN 73 6133).

Této oblasti je třeba věnovat zvláštní pozornost. Přechod vyžaduje speciální konstrukční řešení, pracovní postupy a kontrolu dle ČSN 73 6244. Jedná se o oblast nestejného sedání objektu a přilehlé části násypu pozemní komunikace. Geotechnický průzkum přechodové oblasti musí dát jednoznačný podklad o pevnosti, tuhosti a konsolidačních vlastnostech zemin a hornin v podloží mostní konstrukce, stejně jako o poloze, kolísání a agresivitě podzemní vody. Stejně důležité je stanovit meze přijatelných vlastností sypaniny v přechodové zóně pro posouzení stability a sedání násypu a ověření splnění kritérií přetvoření nivelety.

Pokud se do přechodové oblasti navrhuje použití druhotných materiálů (popílek, struska, recyklované kamenivo, aj.), je bezpodmínečně nutné ověřit jejich dlouhodobé objemové změny po zhutnění a nasycení vodou (ČSN 73 6133).



Obr. 2: Konstrukce přechodové oblasti mostů (Herle a kol., 2012).

2.4. Druhotné stavební materiály v dopravních stavbách

Tak jako v rozvinutých průmyslných zemích, tak i u nás v ČR se snažíme o zpracování druhotných surovin, které se stalo jedním z hlavních podmínek tvorby a ochrany životního prostředí (Loveček a kol., 1989). Právě v silničním stavitelství se jeví značné možnosti většího využití takovýchto surovin a místních materiálů. Všechny materiály nebo stavební směsi, které jsou použity v jednotlivých vrstvách vozovek, jsou recyklovatelné jen na základě ověření vhodnosti použitelnosti podle laboratorních rozborů a průkazních zkoušek a to za předpokladu splnění pevnostních a deformačních parametrů a dodržení příslušných platných technických norem (Števula a kol., 2011). Vždy je nutné u materiálu definovat zejména:

- přesný popis,
- technologii zpracování,
- projektové fyzikálně-mechanické parametry,
- nezávadnost pro životní prostředí,
- vyluhovatelnost a její změny v čase (TP 93),
- časový vývoj mechanických vlastností (např. u materiálů zpevněných pojivy),
- způsob kontroly a četnost.

Loveček a kol. (1989) dělí druhotné materiály pro použití v silničním stavitelství podle jejich vlastností do 4 kvalitativních tříd:

- 1) Materiály, které splňují kritéria podle platných norem pro tradiční stavební látky a mohou se v podstatě použít bez další úpravy, případně s minimální úpravou, která nevyžaduje víc energie, vyšší pracnost a větší náklady jako je úprava přírodních materiálů. Sem patří např. vysokopecní a ocelářská struska, hlušiny a stavební odpady.
- 2) Vedlejší produkty a odpady, které mají podobné vlastnosti jako standardní materiály, ale vyžadují složitější úpravu, případně přidávání přísad, které eliminují, případně neutralizují nepříznivé vlastnosti materiálů, např. vyžadují příměs vápna, cementu nebo jiných látek. Sem řadíme lomové odpady – výsivky, méně kvalitní hlušiny, strusky barevné metalurgie, škváru ze spalovny komunálních odpadů, gumový odpad a strusku a popílek z tepelných elektráren.
- 3) Materiály, které je možné použít jen ve výjimečných případech a za zvláštních podmínek. Sem zahrnujeme flotační odpady, odpady z výroby skla, z plastických látek a odpady z celulózek.
- 4) Odpadní látky, které ani po úpravě nejsou vhodné pro použití v silničním stavitelství.

Recykláty a druhotné suroviny použitelné při budování dopravních staveb (Loveček a kol., 1989):

- 1) Hlušiny z těžby užitečných nerostů:
 - hlušiny z těžby rud,
 - skryvky z těžby nerudných surovin,
 - hlušiny z těžby uhlí,
 - lomové výsivky,
 - úpravárenské kaly.
- 2) Odpady z průmyslové výroby:
 - strusky z výroby ocele, železa a neželezných kovů, slévárenské odpady,
 - popel (popílky a škvára) ze spaloven a tepelných elektráren.
- 3) Stavební odpad:
 - odpad z výroby stavebních hmot (odpad minerální povahy z výroby cihel, keramiky, cementu, vápna, kameniva),
 - odpad z demolice pozemních a inženýrských staveb.

Lomové výsivky: zrna, která propadnou přes nejjemnější síto - jemný prach frakce 0,4 mm, který se používá ve směsi s kamenivem (ČSN 73 6133).

Dosažení projektovaných parametrů musí být podloženo laboratorními zkouškami za okrajových podmínek, které odpovídají skutečným podmínkám v zemním tělese (splnění pevnostních a deformačních parametrů) a ověřeno zhutňovací zkouškou. Dále musí být dodrženy příslušné platné technické normy. Pak tyto materiály mohou být opětovně použity do příslušných vrstev vozovek a do přechodových oblastí mostů (Herle a kol., 2012).

Pro různé vrstvy násypu jsou různá kritéria pro dosažení potřebné únosnosti a ta také limitují použitelnost recyklátu a druhotných materiálů do té které vrstvy. Pro konstrukční vrstvy komunikací jsou tato kritéria nejprísnejší (Herle a kol., 2012).

2.4.1. Popel a popílek

Popel – je nerostný zbytek vznikající při spalování tuhých paliv (uhlí) ukládaný v zásobnících umístěných u tepelně energetických zdrojů. Je složený převážně z popílku a částečně ze škváry a strusky. Popílek tvoří nejjemnější část popela z hlediska zrnitosti (Vidlář a kol., 1983).

Popílek – je nerostný zbytek vznikající při vysokopecním spalování tuhých paliv (uhlí) zpravidla v jemně mletém stavu, složený převážně z malých kulovitých částíček křemičitanového skla (cca 50 % SiO_2 a cca 25 % Al_2O_3). Popílek je heterogenní materiál, jemný prášek získaný zachycováním úletového popílku z kouřových plynů v různých odlučovacích zařízeních (filtrech), připojovaných k velkým topeništím na spalování uhlí - elektrárny a teplárny (ČSN 72 2071).

Popílek z energetických zařízení tvoří největší podíl průmyslových odpadů u nás a z tohoto hlediska je potřebné věnovat daleko větší pozornost možnostem jeho zpracování. V České republice se jako sypanina do zemních konstrukcí používá již mnoho let. Zejména směs popílku s vápnem – *deponovaný stabilizovaný popílek* (Vavřín a kol., 1962).

Deponovaný stabilizovaný popílek nebo popel – je směs popílku nebo popela s vodou a pojivem (vápno a/nebo cement). Pro stavbu pozemních komunikací je tento popílek vyráběn podle receptury (obsah jednotlivých složek vztažen na sušinu) – popílek 98 % hm a vápno 2 % hm (povolená odchylka dávkování vápna může být v rozmezí 1,5 – 2,5 % hm.). Výsledná vlhkost namísené směsi v rozmezí 17 – 24 %. Směs je ukládána bez hutnění na deponii, po odtěžení má charakter hlinitopísčité zeminy. Je kvalitní, dobře zhutnitelný (zhutňovací zkouška podle ČSN 72 1006), málo stlačitelný a nevykazuje objemové změny. Materiál musí být sypaný na tloušťku vrstvy (před zhutněním), tloušťka přísypů na svazích se řídí podle ČSN 72 1002. Při deštivém počasí je nutno pozorně sledovat vlhkost stabilizovaného popílku, aby nedošlo k nadměrnému nasycení materiálu vodou a tím jeho ztekucení.

Stabilizovaný a nestabilizovaný popel a popílek je dovolen použit pro stavbu pozemních komunikací použit do násypu, pro který platí TP 93, dále do aktivní zóny, kde musí po stabilizaci vykazovat vlastnosti nejméně stabilizace S III podle ČSN 73 6125: 1994. Popel a popílek jsou odebírány z odběrných míst v elektrárnách a teplárnách. Použitý popel nebo popílek ze složišť musí být dostatečně odvodněný a musí být těžen nad hladinou podzemní vody. Pro pozemní komunikace je přípustný pouze ten zdroj popela a popílku, u něhož jsou garantovány deklarované vlastnosti po dobu odběru (ČSN 73 6133).

Složiště či odkaliště – místo, kde je uložen či ukládán popel z tepláren nebo elektráren převážně naplavováním vodou, výjimečně mechanickým způsobem (Števula a kol., 2011).

Chemické složení popílků ovlivňuje chemické složení spalovaného uhlí, chemické reakce v průběhu hoření, konstrukce topeniště a řízení postupu hoření. Před použitím nového, dosud nepoužitého popela nebo popílku, při zásadní změně paliva nebo výrobního postupu, ovlivňujícího jakost popela nebo popílku, se musí provádět průkazná zkouška (Vidlář a kol., 1983).

Vzhledem k velké produkci elektrárenského popílku v ČR, je z ekologického hlediska i velice žádoucí tento materiál zapracovávat do bilance zemních prací velkých dopravních staveb, pokud jsou v hospodárné dovozní vzdálenosti od zdroje. Elektrárny jsou dnes schopny připravit stabilizáty na požadovanou vlhkost a procento příměsi pojiva. Příměs vápna udržuje vyšší teplotu stabilizátu i při venkovních teplotách pod nulou a lze takto budovat zemní tělesa i v zimě. Samotný popílek i stabilizát mají objemovou hmotnost o cca 40 % nižší než běžná zemina a výsledné sedání je tudíž nižší.

U popílku je však nutné pečlivě prověřit hlavně objemové změny za různých okrajových podmínek. Zejména u nových spalovacích technologií, při kterých se společně spaluje uhlí a mletý vápenec, tzv. fluidní spalování, je výsledný fluidní popílek bohatý na volné vápno, sádrovec a další sloučeniny, které ve vlhkém prostředí mohou reagovat, výrazně zvětšovat svůj objem a mohou tak způsobit deformace zemního tělesa, např. vozovky nebo zvýšit vodorovné tlaky na mostní opěry (Herle a kol., 2012).

Popel a popílek do pozemních komunikací

Popel a/nebo popílek se dle Vidlár a kol. (1983) může použít jako stabilní lehký násypový materiál (do násypů, zásypů a obsypů komunikací) nebo do podkladových stabilizovaných vrstev jako tepelněizolační vrstvy. Při návrhu konstrukce z popela nebo popílku je nutno posoudit ekonomickou účelnost se zřetelem na místní zdroje materiálu a vzdálenost jejich zdroje. Použití popela nebo popílku se nedoporučuje pro stavby, kde je:

- hladina podzemní vody v úrovni pláně podloží násypu nebo nad ní,
- hladina podzemní vody nad úrovní dna stavební rýhy,
- výška násypu menší než 50 cm,

jinak je nutno vhodnými opatřeními zamezit přímému styku popela nebo popílku s vodou. Ve sběrných oblastech pitné vody je nutno prokázat, že nehrozí znečištění chemickými výluhy z popela nebo popílku.

Podrobnější formulace zásad a podmínek použití popílků a popelů do zemního tělesa s ohledem na nové právní předpisy jsou obsaženy v novelizované normě ČSN 73 6133. A také musí popř. vyhovovat dalším požadavkům dohodnutým předem mezi odběratelem a dodavatelem (výrobce popela a popílku). Výrobce je povinen vždy oznámit odběrateli každou zásadní změnu jakosti popílku vzniklou buď změnou palivové základny nebo změnou výrobních podmínek. Popel uložený na složišti nesmí být smíchán s organickou nebo jinou nevhodnou látkou (např. odpadky, chemické kaly apod.), (Vidlár a kol., 1983).

Popel a popílek do přechodových oblastí mostů

Podle normy ČSN 73 6244 a technických podmínek TP 93 se pro vylehčování násypových těles přechodové oblasti může použít stabilizovaný popílek nebo popel, avšak pouze v zásypu za opěrou a v samotném přechodovém klínu pro zmenšení zatížení podloží přechodové oblasti. Při použití popílkového stabilizátu musí být zajištěny podmínky trvale stabilního zemního tělesa. Vhodnost stabilizátu musí být doložena výsledky příslušných průkazních zkoušek. Podle ČSN 73 6133 se

vlastnosti zhutněného popílkového stabilizátu určují laboratorními zkouškami před zhutňovací zkouškou. Po vytvrzení stabilizátu se zkouší:

- pevnost v prostém tlaku (po 28, 60 a 90 dnech),
- mrazuvzdornost (po 60 a 90 cyklech),
- objemové změny (otázka možnosti zvětšování objemu).

Zpracovatelnost popílkového stabilizátu je ovlivněna rychlostí chemických reakcí, které začínají probíhat již při navlhčení nebo aditivací produktů. Popílkové stabilizáty mají po vytvrnutí charakter hubeného betonu s pevností v prostém tlaku v hodnotách obvykle prvních MPa, v některých případech byla zaznamenána i pevnost vyšší než 10 MPa (Herle a kol., 2012).

Nejnepříznivější vlastností z hlediska dlouhodobého chování popílkového stabilizátu v přechodové oblasti je jeho expanzivní chování, které se u některých popílků projevuje. Proto se před zahájením stavby s použitím popílku musí průkazně ověřit jeho dlouhodobá objemová stálost.

Popílek ani popel se nesmí použít v ochranném zásypu a obsypu ani v podkladním přechodovém klínu pod přechodovou deskou.

Průzkum, navrhování, provádění a zkoušení přechodových oblastí pozemních komunikací musí odpovídat normě ČSN 73 6244, která byla v roce 2010 harmonizovaná s ČSN EN 1977-1, ČSN EN 14 475 a ČSN EN 14 227 (Herle a kol., 2012).

2.4.2. Struska

Struska - je vedlejší produkt mnoha termických a spalovacích procesů kovů - oceli, uhlí, různých odpadů či dřevní hmoty (ČSN 72 2030).

Podle Hosford et al. (2007) má nejlepší předpoklady pro širší využití kamenivo z vysokopecní strusky. Při výrobě struskového kameniva je potřebné sledovat kvalitu strusky, aby u ní nedocházelo k vápenatému a železitému rozpadu, aby otlukovost a nasákavost dosahovala hodnoty, které jsou povolené normou.

Granulovaná vysokopecní struska se běžně využívá při výrobě cementů. Vhodná mletá granulovaná struska se může použít jako pomalu tuhnoucí pojivo pro stmelené podkladové vrstvy (Hosford et al., 2007).

Vysokopecní struska – je metalurgická kamenitá sypanina, která vzniká jako vedlejší produkt při tavení a rafinaci kovů – při výrobě surového železa ve vysokých pecích (ČSN 72 2030). Veškerá tavenina z vysoké pece je vypouštěna odpichovým otvorem, přičemž pec může mít ve stejné úrovni víc odpichových otvorů. Struska je od surového železa oddělována v hlavním odpichovém žlabu pomocí přepážky, která lehčí strusku odvádí do struskového žlabu, pomocí něhož je dopravována do struskových pánví nebo k přímému zpracování, např. do tzv. granulačních komor (výroba granulačního písku), (Hosford et al., 2007).

Je vhodná pro použití do násypů zemních těles pozemních komunikací jako jiná kamenitá sypanina za předpokladu, že neobsahuje nežádoucí anorganické a minerální látky. V návrhu se musí brát v úvahu zrnitost, rozpadavost či vyluhovatelnost strusky a možný vznik sedání (ČSN 73 6133).

Ocelářská struska - je nekvalitní nadrcený odpad, který vzniká při výrobě oceli. Je objemově nestálá a tím způsobuje nemalé deformace stavebních konstrukcí (ČSN 72 2041 - 1).

Škvára – je vedlejší produkt spalovacích procesů při spalování pevných paliv a spalování odpadů. Strusky sestávají převážně z oxidů s příměsemi sloučenin síry, fosforu a kovových částic. Škvára drcená a tříděná, případně upravená aktivací, se používá hlavně na výrobu škvárobetonů. Upotřebitelnost škváry ovlivňuje druh paliva, z kterého vznikla (ČSN 72 2030).

Podle Seidlerová (2009) je možné z komunálních odpadů za předpokladu dodržování předepsaných technologických zásad využívat škváru ze spaloven komunálních odpadů. Vzhledem k charakteru a vlastnostem škváry, je tato vhodná zejména na stavbu méně exponovaných násypů.

Studený odval (neboli hutní suť) – je velmi heterogenní směs vedlejších produktů hutní výroby (směs hutnických strusek, slévarenských písků a vybouraných vyzdívek (vnitřních stěn) vysokých pecí, které vznikají při výrobě surového železa a oceli). Studený odval je netříděný, je zde zastoupen zcela podřadně i ostatní materiál – např. šamotové cihly a stavební suť, v menší míře dřevo, PVC apod. Tyto složky jsou zastoupeny v různém poměru a jejich minerální složení se mění zrno od zrna. Je dobře hutnitelný a je objemově nestálý. Z geotechnického hlediska je studený odval zařazen jako štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy (G3), (Seidlerová, 2009).

Vlivem použití studeného odvalu (objemově nestálého materiálu) v násypech dálničního tělesa D47, byly způsobeny deformace násypů komunikace, které měly vliv na deformace mostních konstrukcí v přechodových oblastech za opěrami (viz. kapitola 3. DÁLNIČE D47).

Normy a předpisy České republiky nevylučují použití vysokopecní a ocelářské strusky v žádné části zemního tělesa za předpokladu, že vyhoví kvalitativním požadavkům ČSN 72 2030 a ČSN 72 2041 - 1. Tyto materiály lze tedy ve smyslu předpisů použít v podloží násypů, v násypovém tělese, aktivní zóně i přechodové oblasti mostů. Nikde není uvedeno, že použití vysokopecní nebo ocelářské strusky do některé části zemního tělesa nebo přechodové oblasti mostu je zakázáno. V zahraničí se však analogické produkty nepoužívají. Studený odval byl použit pouze v České republice. Americké předpisy i předpisy velké Británie umožňují použití pouze popílku a vysokopecní strusky (Seidlerová, 2009).

Problematika využívání vedlejších produktů z hutní výroby v zemních pracích není jednoduchá. Jejich chování bývá často diametrálně odlišné od laboratorních výsledků. Tyto materiály jsou velmi heterogenní a nelze pro ně stanovit kritéria použitelnosti, jako v případě určených frakcí kameniva (Hosford et al., 2007).

2.4.3. Hlušiny z těžby užitkových nerostů

Hlušinová sypanina – odpadová hornina získaná při ražení důlních děl, při dobývání a úpravě rudy, nerudných surovin a uhlí jako nezužitkovatelný materiál, který je s těžbou horninou či nerostem geneticky natolik srostlý, že při těžbě nejde oddělit. Hlušina se také nepřilíší správně označuje jako

jalovina či *jalová hornina*. Tvoří horniny široké frakce 0-200 mm, při neupravené sypanině až 500 mm. Obvykle obsahuje určité množství užitečných nerostů. Má převážně charakter nesoudržné horniny s malou příměsí hlinitých a jílovitých částic (ČSN 73 6133).

Hlušinu z těžby černého uhlí tvoří karbonské horniny, které se skládají z pískovců, prachovců a jílovců s ojedinělými výskyty slepenců. Příměsí těchto hornin jsou spalitelné látky, jejichž množství kolísá mezi 15 až 25 %, výjimečně přesahuje 30 %. Uhlenné hlušiny mají některé specifické vlastnosti, které jsou způsobené obsahem spalitelných látek, nacházejících se ve formě uhelné substance.

Hlušinou z těžby hnědého uhlí jsou terciární a kvartérní zeminy z podkrušnohorských pánví. Jako druhotný materiál se používají zejména pro úpravy komunikací a železničních vlečků v povrchových lomech a jejich okolí (Odpady, 2011).

Na území ČR se nachází velký počet odvalů hlušiny z těžby polymetalických rud. Převážná část odvalů obsahuje ještě dosti rudních minerálů, že by se na základě dnešních poznatků vědy a techniky mohly znovu získávat (Odpady, 2011).

Výsledky zkoušek s různými uhelnými hlušinoumi ukázaly, že ne všechny jsou vhodné pro silniční stavitelství. Na stavbu zemních těles se smí použít pouze taková hlšina, která nepoškozuje životní prostředí a pokud vyhovuje požadavkům ČSN 73 6133, využití podléhá schválení příslušného hygienika (ČSN 73 6133). Podle Loveček (1989) je při použití hlušiny s uhelnou substancí nutné při jejím ukládání do násypu přerušit vrstvou hlušiny vrstvou zeminy, aby nedošlo k samovznícení uhelné substance.

Např. hlušiny z oblasti Kladna jsou málo vhodné pro použití do konstrukčních vrstev vozovek. Příznivější situace je v oblasti Ostravy, kde se získaly s hlušinoumi dobré výsledky. Ty jsou využívány na stavbu násypů i podkladových vrstev (Odpady, 2011). V Příbrami se využívá halda po těžbě smolince po odstranění radioaktivních minerálů na separátoru jako kamenivo (Odpady, 2011). Hlušínová sypanina se nesmí použít do aktivní zóny zemního tělesa.

Podle ČSN 73 6133 se vhodnost použití uhelné sypaniny do násypu dělí na základě těchto vlastností:

- vhodné uhenné sypaniny s obsahem spalitelných látek do 18 % a/nebo cizorodých částic nejvýše 0,5 %,
- podmíněčně vhodné uhenné sypaniny s obsahem spalitelných látek nejvýše 25 %,
- nevhodné uhenné hlušínové sypaniny.

2.5. Recyklované stavební materiály v dopravních stavbách

2.5.1. Stavební a demoliční materiály

Po zemních výkopech, stavebních pracích nebo demolicích vozovek, pozemních a inženýrských staveb (Obr. 3) zůstává stavební materiál a odpad, který se v drtivé většině dále nezpracovává a navíc se mnohdy musí vozit i několik desítek kilometrů na skládku, což je naprosto zbytečné. Stavební i demoliční materiál se na stavbě naloží a odveze k recyklaci do recyklačního střediska (Obr. 4).

Materiál je zde podle své povahy drcen drtiči, tříděn třídícími stroji nebo zpracováván kombinací obojího materiálu a následně je tento materiál dělen na jednotlivé frakce s ohledem na maximální využití ve stavební výrobě. Tento recyklát pak může být odvážen znovu na stavbu (Momber, 2005).

Stavební a demoliční odpad (SDO) – je inertní odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám (ČSN EN 13 242+A1).

Recyklát ze stavebního a demoličního materiálu – je materiálový výstup ze zařízení k využívání a úpravě stavebních a demoličních odpadů kategorie ostatní odpad a odpadů podobných SDO, spočívající ve změně zrnitosti a jeho roztřídění na velikostní frakce v zařízeních k tomu určených. V české legislativě jde o první oficiální definici recyklátu ze stavebního a demoličního materiálu, kde je definovaný jako recyklované kamenivo (vyhláška 61/2010 Sb.).



Obr. 3: Demolice domu (Otýs a kol., 2010).

Recyklát na stavbu zemních těles se smí použít tak, jako jiná zemina nebo kamenitá sypanina, za předpokladu, že neobsahuje nežádoucí organické a minerální látky s negativním vlivem na životní prostředí nebo látky, které působením klimatických vlivů mění svůj objem, pevnost a tvar (ocelový odpad, dřevo, sádra apod.), (ČSN 73 6133). Přetříděnou zeminu z výkopů je možno použít pro konečné úpravy při zatravňování okolí staveb (Winkler, 2010).



Obr. 4: Drcení a třídění stavebního a demoličního materiálu (Otýs a kol., 2010).

Velikost a tvar největšího zrna sypaniny z recyklovaného materiálu má umožnit zhutnění této sypaniny zhutňovacím prostředkem. Doporučuje se, aby největší zrna nepřesahovalo $2/3$ tloušťky vrstvy. Do zemního tělesa nesmí být použit materiál s maximální objemovou hmotností menší než 1500 kg.m^{-3} (ČSN 73 6133).

Dle Katalogu odpadů (vyhláška 381/2001 Sb.) jsou pro výrobu recyklovaného kameniva vhodné tyto stavební a demoliční odpady:

- beton, cihly, tašky a keramické výrobky,
- asfalt, asfaltové směsi neobsahující nebezpečné látky,
- zemina (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst), kamení a vytěžená hlušina.

Recyklované stavební materiály a druhotné suroviny z demolic staveb mají využití jako náhrada nebo kombinace s přírodním nebo umělým drceným kamenivem nebo štěrkem do zemního tělesa (podloží násypu), podloží vozovek (násypu), aktivní zóny a konstrukčních vrstev pozemních komunikací (Wathurst, 2011). Při stavbě přechodové oblasti mostních staveb se postupuje v souladu s revidovanou normou ČSN 73 6133, kde se také připouští použití recyklovaný stavební a demoliční materiál, který splňuje podmínky TP 210 (Herle a kol., 2012).

Pro kombinované směsi platí stejné požadavky jako v případě jednosložkových směsí a to včetně požadavků zkoušených vlastností. Recyklované kamenivo je při dodržení příslušných norem plnohodnotná náhrada standardního přírodního i umělého kameniva. Využívání recyklovaných materiálů správným způsobem tedy není na úkor kvality stavebního díla a jeho použití není důvodem změny standardních postupů při návrhu a provádění stavebního díla.

Problémem je špatná informovanost o možnostech těchto materiálů a nevhodný způsob uvádění recyklačních technologií do souvislosti s nakládáním s odpady. S tím souvisí vznik mnoha uměle vytvořených problémů a zbytečných překážek (Winkler, 2010).

Při dodržení všech požadavků TP je možné použití recyklátu z betonu v omezeném rozsahu k výrobě asfaltových směsí a cementobetonových krytů vozovek pozemních komunikací. Tyto technické podmínky (TP) jsou určeny především pro zpracovatele, výrobce a také objednatele prací s recyklovaným stavebním materiálem, dále pak pro provozovatele recyklačních linek a správce recyklačních dvorů. Některá ustanovení těchto TP jsou stejná nebo navazující na ustanovení zejména TP 208 (TP 210).

Nejčastěji používané druhy recyklovaného kameniva do dopravních staveb (Winkler, 2010):

- *Recyklát z betonu (R_c)* – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu a betonových konstrukcí (Obr. 5). Je vhodný do podkladních a ochranných vrstev vozovky a hlavně je vhodný jako náhrada přírodního kameniva do konstrukčních vrstev vozovek nižších tříd.



Obr. 5: Recyklát z betonu (Král a kol., 2010).

- *Recyklát ze zdiva ($R_c + R_b + R_g$)* – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním pálených a nepálených zdících prvků (např. cihly (R_b), sklo, obkladačky, zbytky pálených keramických výrobků (R_g) aj.) a betonu (Obr. 6).



Obr. 6: Recyklát stavebního odpadu s převahou drcených cihel (Král a kol., 2010).

- *Recyklát směsný $R_c + R_b + R_g + R_u$* – je recyklované kamenivo vzniklé předrcením a tříděním úlomků betonu (R_c), cihel (R_b), nestmelených zrn kameniva (R_u), zbytky pálených keramických výrobků (R_g) a rozdrobené ztvrdlé maltové pojivo (Obr. 7), (Winkler, 2010). Tento recyklát se nepovažuje za kamenivo ve smyslu ČSN EN 12 620+A1, ČSN EN 13 043 nebo ČSN EN 13 242+A1. Podíl hlavních složek není určen. Recyklát směsný je určen převážně jako náhrada zemin pro stavbu násypů (především do aktivní zóny pozemní komunikace), terénní úpravy nevhodné zeminy, pro mechanickou úpravu nevhodné zeminy v podloží pozemních komunikací a zásypy rýh apod. (ČSN 73 6133).



Obr. 7: Recyklát směsný, velikost zrna 30-70 mm (Král a kol., 2010).

- *Recyklát z vozovek (Rc + Ru)* – je recyklované kamenivo získané drcením a vytříděním betonu případně materiálů z drcených hydraulicky stmelených a nestmelených vrstev (Ru), (Winkler, 2010).
- *R-materiál* – je recyklovaná asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev (krytů) nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Jedná se o více jak 95% asfaltových materiálů (Winkler, 2010). V ČR je umožněno použít recyklát pouze v asfaltových betonech pro ložné a podkladní vrstvy pod asfaltové povrchy. V obrusných vrstvách je použití asfaltového recyklátu silně omezeno resp. pouze dovoleno v omezeném množství (ČSN EN 13 043).
- *Recyklát asfaltový (Ra)* – je recyklát z asfaltových vozovek, kde je podíl $30\% < Ra \leq 95\%$ hm., je vhodný jako ložní a podkladní vrstva pod asfaltové povrchy (Winkler, 2010).

Podle procentuálního zastoupení hlavní složky recyklátu lze orientačně rozdělit užití recyklovaného stavebního materiálu podle (Tab. 2), (TP 210).

Tab. 2: Doporučené užití recyklovaného stavebního materiálu do pozemní komunikace podle zastoupeného základního materiálu (TP 210).

Typ RSM	Konstrukční vrstvy pozemní komunikace									Podloží, zemní těleso
	AB	CB	Nestmelené podkladní vrstvy (NV)				Stmelené podkladní vrstvy (SV)	Prolévané podkladní vrstvy (PV) a VŠ		
			MZK	ŠDA	ŠDB	MZ		Kostra	Výplň	
Recyklát z betonu	+	0/-	+	+	+	+/0	+	+/0	+/0	+/0
Recyklát ze zdiva	-	-	-	0/-	+	+/0	+	0/-	+/0	+
Recyklát směsný	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+
Recyklát z vozovek	+	+/0	+	+	+	+/0	+	+/0	+/0	+/0
Recyklát asfaltový	+	-	+/0	+	+	0/-	+	0/-	0/-	0/-

Vysvětlivky k Tab. 2:

+ . . . doporučuje se používat

- . . . nedoporučuje se používat

0 - podmínečně použitelný (omezené např. z technologických, ekonomických nebo ekologických důvodů apod.)

RSM - recyklovaný stavební materiál je materiálový výstup ze zařízení k využívání a úpravě SDO, spočívající ve změně zrnitosti a jeho roztřídění na velikostní frakce v zařízeních k tomu určených (recyklát z betonu, recyklát ze zdiva, recyklát z vozovek, recyklát směsný, recyklát asfaltový)

AB - asfaltové (asfaltobetonové) vrstvy vozovek

CB - cementobetonové kryty vozovek

MZK - mechanicky zpevněné kamenivo podle ČSN EN 13 285

ŠDA - šterkodrt' podle ČSN EN 13 285, kvalitativní kategorie A

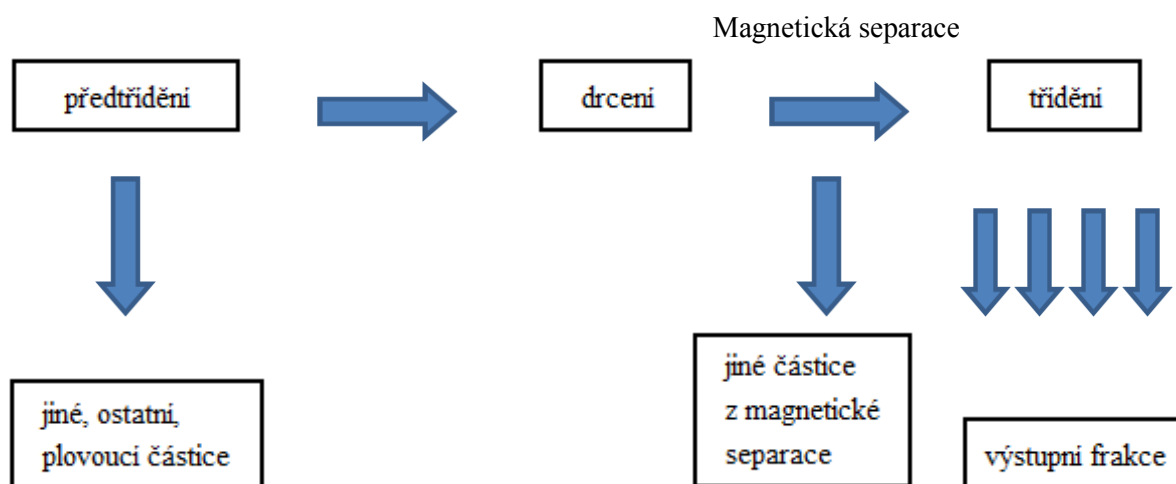
ŠDB - šterkodrt' podle ČSN EN 13 285, kvalitativní kategorie B

MZ - mechanicky zpevněná zemina podle ČSN EN 13 285 NA

VŠ - vibrovaný šterk podle ČSN 73 6126-2. Je vrstva vytvořená kostrou z hrubého drceného kameniva se zavibrovaným výplňovým kamenivem. Nelze klást na podloží, jelikož nesplňuje filtrační kritéria.

Použití recyklátu ze stavebního demoličního materiálu do pozemních komunikací:

Kvalita recyklátu je ovlivněna nejenom samotnou technologií výroby, ale i organizací práce třídění demoličního materiálu a celkovým logistickým systémem chodu recyklačního zařízení, včetně skladového hospodářství, dopravních cest apod. (Winkler, 2010). Z hlediska získání kvalitního recyklátu z vybouraného materiálu pro další využití se za poslední roky v domácích podmínkách ustálila všeobecně uznávaná a používaná konfigurace orientačně naznačená blokovým schématem (Obr. 8), (TP 210).



Obr. 8: Metoda úpravy stavebních a demoličních odpadů na kvalitní recyklovaný materiál (TP 210).

Recyklované stavební materiály musí být skladovány odděleně podle druhu a jakosti. Přitom je nutno zabránit znehodnocení materiálu (znečištění, smíchání, vyplavování, apod.). Velmi důležité je, při pravidelném využití recyklátu do pozemních komunikací, důsledné sledování homogenity a stejnorodosti z hlediska úrovně kvality drcených recyklovaných materiálů (Kuraš, 1994).

Pro uplatnění recyklovaného kameniva na trhu je nezbytné jednoznačné zajištění deklarace jeho vlastností - jak stavebně technických, tak i dodržení stanovených limitů obsahu nebezpečných látek. Základní požadavky na prokazování vlastností, které přicházejí pro případ recyklovaného kameniva v úvahu, jsou dle Wathurst (2011) zejména:

- požadavky na tvarové vlastnosti (zrnitost, tvar zrn hrubého kameniva - index plochosti a tvarový index, procentní podíl ostrohranných a oblých zrn, obsah jemných částic),
- požadavky na fyzikální vlastnosti (odolnost proti drcení hrubého kameniva, odolnost hrubého kameniva proti otěru, objemová hmotnost zrn, nasákavost),
- trvanlivost.

Pokud recyklát z vozovek nebo recyklát asfaltový obsahuje dehet, jeho použití je podmíněno konkrétními podmínkami specifikovanými v TP 150.

Pro recyklované stavební a demoliční materiály do zemního tělesa, aktivní zóny a podloží vozovky pozemní komunikace se provádí průkazní zkoušky pro ověření vhodnosti materiálu, které musí splňovat požadavky ČSN 73 6133. Tento proces lze dle ČSN EN 13 242 dovést až do vydání certifikátu CE – zejména jako recyklované „kamenivo do podkladních a ochranných vrstev obslužných, místních komunikací, nemotoristických, dočasných komunikací“ (Kuraš, 1994).

Doporučené požadavky na zrnitost stmelěných směsí recyklátu ze stavebního demoličního materiálu dle TP 210 jsou zobrazeny v (Tab. 3; Tab. 4; Tab. 5).

Tab. 3: Doporučené požadavky na zrnitost směsí frakce 0/22 (TP 210).

Velikost síta (mm)	Propad zrn v % hmotnosti
31,5	100
22,4	85 – 100
10	55 - 87
4	18 - 70
2	23 - 54
0,5	11 – 31
0,25	8 – 23
0,063	4 – 11

Tab. 4: Doporučené požadavky na zrnitost směsí frakce 0/31,5 (TP 210).

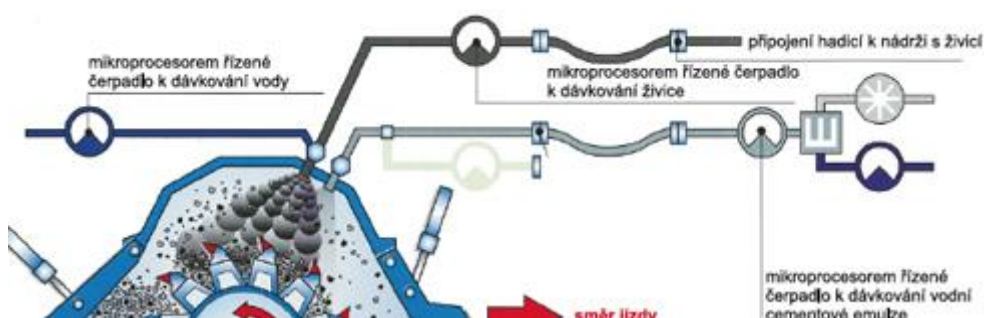
Velikost síta (mm)	Propad zrn v % hmotnosti
45	100
31,5	85 – 100
22,4	65 - 94
10	44 - 78
4	26 - 61
2	18 - 50
0,5	8 - 30
0,25	6 - 22
0,063	3 - 11

Tab. 5: Doporučené požadavky na zrnitost směsí frakce 0/63 (TP 210).

Velikost síta (mm)	Propad zrn v % hmotnosti
63	90 – 100
45	85 – 100
31,5	69 – 95
22,4	59 – 88
10	44 – 78
4	26 - 61
2	18 – 50
0,5	8 - 30
0,25	6 - 22
0,063	3 - 11

2.5.2. Recyklace za studena

Recyklace za studena je podle Rypl a kol. (2011) nová moderní technologie obnovy komunikací s významným environmentálním přínosem (Obr. 9). Jedná se o progresivní způsob rekonstrukce komunikací s využitím původních materiálů z podkladních vrstev vozovky v místě zpracování. Celá tato nová technologie je ekonomická, rychlá, efektivní a hlavně šetrná k životnímu prostředí. Recyklace za studena je založena na využití druhotných zdrojů, zabudovaných v konstrukci opravované vozovky a speciálního technického vybavení, v jehož čele stojí jedinečné moderní zařízení – recykler WR 2500.



Obr. 9: Technologie recyklace za studena-moderní zařízení recykler WR 2500 (Rypl a kol., 2011).

Metoda studené recyklace na místě spočívá v rozpojení stávajících podkladních vrstev komunikací vč. části živičných vrstev pomocí frézovacího bubnu recykleru, čímž vzniká základní stavební směs (recyklovatelná stavební hmota), která je doplněna o další nezbytné stavební komponenty (voda, cement, asfaltové pojivo a příp. i kamenivo), dávkované přímo do mísícího zařízení a v případě cementu a přídatného kameniva rovnoměrným rozptřením v předepsaném množství na recyklovanou plochu. K promíchání přídatných složek spolu se základní směsí dochází pomocí frézovacího a mísícího rotoru v mísící komoře recykleru, přičemž parametry jako pracovní šířka, pracovní hloubka, hustota materiálu a současně požadované množství asfaltového pojiva a vody jsou řízeny mikroprocesorem se zadáváním údajů z ovládacího pultu obsluhy. Množství přídatných přísad je kontrolováno v závislosti na rychlosti pojezdu.

Rozptřená stavební směs je zhutňována bezprostředně po položení dle požadavků TP na odpovídající míru zhutnění (Obr. 10). Výsledné vrstvy mají vlastnosti odpovídající cementové

stabilizaci a příznivěji působí při styku s asfaltovými vrstvami, což umožňuje snížit tloušťku navazujících asfaltových vrstev (Rypl a kol., 2011).



Obr. 10: Technologie recyklace za studena (Rypl a kol., 2011).

Přínos recyklace za studena ve srovnání se standardními konvenčními technologiemi (Rypl a kol., 2011):

- racionalizace nákladů s nezanedbatelnou finanční úsporou, vyplývající z nižší materiálové spotřeby a redukce objemu těžké stavební dopravy,
- minimalizace doby dopravních omezení a zkrácení celkové doby opravy,
- významný environmentální dopad v podobě maximálního využití odpadu z podkladních vrstev a snížení emisí produkovaných při provozu dopravních prostředků při přepravě náhradních materiálových zdrojů,
- celková efektivnost – dosažení výstupních kvalitativních parametrů na úrovni cementové stabilizace za kratší dobu, nižších nákladů a šetrnějšího zásahu do životního prostředí.

2.6. Znovuvyužití starých bitumenových směsí při výstavbě komunikací

Znovuvyužití neboli recyklování starých bitumenových směsí, patří v současnosti k progresivním technologiím v silničním stavitelství a znamená celospolečenský přínos v úspoře asfaltu, kameniva, ale i energie potřebné na jejich prvotní výrobu. Komponenty asfaltových směsí si v minulosti v procesu výroby asfaltových směsí vyžádaly značné množství energie a proto je nutné tyto materiály lépe zužitkovat a zhodnotit dosud známými technologickými postupy (Števula a kol., 2011).

Vznik trvalých deformací krytových, případně i horních podkladových vrstev zhotovených z asfaltových směsí, asfaltového betonu nebo obalovaného kameniva, vedl k hledání možnosti jejich odstranění. Pokládky nových obrusných vrstev především těch vozovek, které nevyžadovaly zesílení, byly neekonomické a přinášelo nepotřebné a v městských podmínkách nežádoucí zvyšování nivelety vozovky. Byly proto hledané nové směry pro zabezpečení rovnosti povrchu netuhých vozovek.

V průběhu životnosti netuhé vozovky dochází zákonitě k postupnému snižování provozní způsobilosti vozovky a to tvorbou uvedených trvalých deformací, ohlazováním povrchu vozovky a působením povětrnostních vlivů. K snižování provozní způsobilosti dochází i za předpokladu, že byly splněné dimenzační kritéria. V minulosti tyto nerovnosti byly odstraňované pokládkou zesilovacích vrstev, které současně přispěly ke zvýšení únosnosti celé vozovky vzhledem k výrazně se zvyšující dopravní zatížení. Proto nebyly hledané ani nové technologie obnovy krytů vozovky (Loveček a kol., 1989).

Efektivnost obnovy vozovky je potřebné vidět především v těch technologiích, které využívaly v minulosti už zabudovanou asfaltovou směs (Števula a kol., 2011).

2.6.1. Způsoby získávání a skladování starých bitumenových směsí

Staré bitumenové směsi se získávají odbagrováním nebo frézováním krytových, případně vrchních podkladových vrstev netuhých vozovek. Dosavadní zkušenosti jednoznačně poukazují na přednost frézování, jejíž technologie je považována za modernější způsob získávání starých bitumenových stavebních směsí.

Skladování upravených asfaltových stavebních směsí musí být organizovaná se zřetelem na vlastnosti starého pojiva a křivku zrnitosti původního kameniva. Každá změna těchto vlastností staré asfaltové směsi si vyžaduje, aby materiál byl skladovaný odděleně a byly vytvářené skládky o stejných vlastnostech R-materiálu. Tato zásada se stává vstupní podmínkou pro opětovné použití upravených asfaltových stavebních směsí ve výsledných směsích asfaltového betonu při dodržení technologie malé i velké míry recyklování (Loveček a kol., 1989).

2.6.2. Technologie opětovného zpracování starých bitumenových směsí

Technologie opětovného zpracování starých bitumenových směsí se dle Loveček a kol. (1989) člení na:

- technologie obnovování,
- technologie recyklováním.

2.6.2.1. Technologie pro obnovování obrusných vrstev za tepla bez přidání asfaltové směsi

Technologie obnovování obrusných vrstev netuhých vozovek zabezpečuje navrácení potřebných vlastností povrchu vozovky. Jedná se o technologii reprofilování povrchu vozovky bez přidání nové asfaltové směsi. Tento způsob obnovy obrusné vrstvy je možné aplikovat tehdy, pokud vozovka vykazuje jen velmi malé trvalé deformace a pokud původní asfalt není značně viskózní stárnutím. Aplikací technologie se dosáhne zlepšení povrchových vlastností vozovky, především rovnosti a částečně i zvýšení drsnosti. Obnovovaná tloušťka obrusné vrstvy je menší než 40 mm.

Předmětná technologie patří k nejjednodušším způsobům obnovy vlastností obrusných vrstev. Obnovovaná vrstva se rozehřeje soustavou propan-butanových infrazářičů na potřebnou pracovní teplotu, potom se rozpojí a nakypří rozrývacím zařízením. Následuje urovnání staré směsi do příčného a podélného profilu srovnávací kladinou s předzhuťněním.

Teplota ohřevu obnovované asfaltové vrstvy musí být volená tak, aby nepřišlo na povrchu a uvnitř vrstvy ke znehodnocení starého asfaltového pojiva. Proto max. hloubka obnovované vrstvy je omezená na 40 mm (Loveček a kol., 1989).

2.6.2.2. Technologie obnovy krytu za tepla s přidáním nové asfaltové směsi

Technologie je uváděná v zahraniční literatuře jako termoregenerace (regenerace obrusné vrstvy za tepla). Jedná se o znovuzpracování zabudované asfaltové směsi za tepla s následnou pokládkou nové překrývací vrstvy. Na urovnaný a předehřátý povrch předzhotužené vrstvy se položí nová asfaltová směs v množství 30 až 40 kg.m⁻². Minimální teplota překrývací vrstvy je doporučovaná 150 °C při použití asfaltu AP 80 nebo A 80. Jedná se o způsob pokládky „teplé na teplé“. Obě vrstvy, tj. regenerovaná a překrývací vrstva se zhutňují najednou jako jedna vrstva.

Tato technologie nachází uplatnění na těch úsecích vozovek, kde je výskyt trvalých deformací a všude tam, kde je nutné zlepšit povrchové vlastnosti vozovek s případným, nebo aspoň s dočasným odstraněním trhlin na povrchu vozovky. Úprava nachází uplatnění tehdy, pokud je k dispozici strojní zařízení, které vykonává všechny technologické operace od rozehrívání staré vrstvy až po pokládku nové asfaltové směsi (Loveček a kol., 1989).

2.6.2.3. Technologie recyklování starých bitumenových směsí v obalovacích soupravách

Technologie recyklování v obalovacích soupravách dle Loveček a kol. (1989) spočívá v opětovném použití starých bitumenových stavebních směsí získaných frézováním nebo bouráním konstrukčních vrstev netuhých vozovek smílených bitumenovým pojivem (asfaltem nebo dehtem) s přidáním nového kameniva, asfaltu a také regeneračních a adhezivních přísad. Opětovné použití upravených bitumenových směsí je možné uskutečnit:

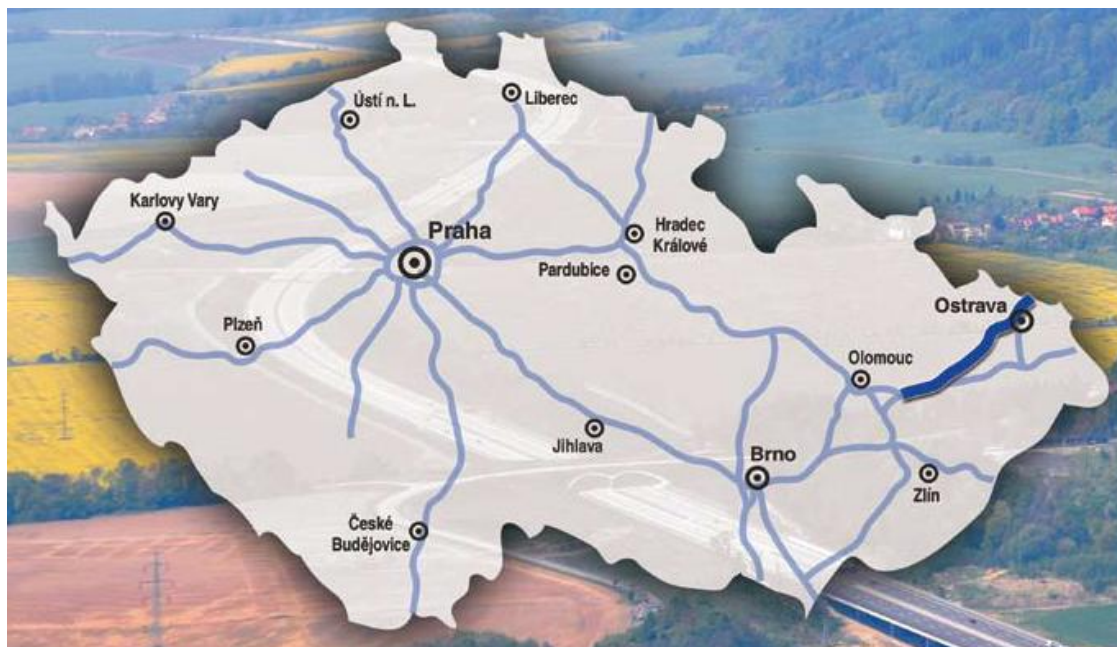
- *V obalovacích soupravách s bubnovou vyhřívací míchačkou.* Tato technologie je označovaná jako “velká míra recyklování”. Umožňuje opětovné zpracování víc jak 30 % hmotnosti R-materiálu. Jde o systém s jedním bubnem, ve kterém dochází k sušení, vyhřívání a současně k jeho obalování asfaltovým pojivem.
- *V obalovacích soupravách s přerušovaným cyklem výroby.* Výroba asfaltových směsí v ČR byla a je v převážné míře zabezpečována v obalovacích soupravách s přerušovaným cyklem výroby. Tuto technologii recyklování označujeme jako „malou míru recyklování“. Takto upravená bitumenová stavební směs (R-materiál) je přidávána v max. množství 30 % hmotnosti výsledné směsi.

3. DÁLNIČE D47

Aktuálním problémem je výrazné porušení nivelety dálnice vlivem použití nevhodného materiálu při budování násypu. Jedná se o příčné deformace dálnice D47 mezi Běloučkem a Ostravou (Obr. 11). Po dálnici D11 z Prahy do Hradce Králové jde již o druhý závažný případ, kdy se na dálnicích objevují závažné stavební nedostatky.

Dne 1.prosince 2007 otevřelo Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD) první úsek nové dlouho očekávané dálnice D47. Severomoravská dálnice D47 je součástí severojižního tahu spojujícího Skandinávii, Polsko, Česko a Rakousko s vazbou na D1 a R35. Z mezinárodního hlediska je tedy dálnice D47 významnou součástí evropské dálniční sítě, umožňující dopravní spojení sever-jih z oblasti baltských přístavů do států Středního východu (<http://www.rsd.cz/>).

Dálnice začíná u Lipníku nad Bečvou a končí na státních hranicích ČR/Polsko. Začala se budovat v roce 2003 a nyní se stavba blíží ke svému konci. Zbývá dobudovat poslední úsek mezi Bohumínem a hranicemi s Polskem. Stavba stála 4,3 mld. korun, měří 80,156 km a byla rozdělena na 8 stavebních úseků. Nachází se na ní 13 mimoúrovňových křížení a 2 střediska správy a údržby dálnice (<http://www.rsd.cz/>; <http://www.viamoravica.cz/>).



Obr. 11: Mapa tras dálnic v ČR se zvýrazněnou dálnicí D47 (<http://www.rsd.cz/>).

3.1. Deformace v úseku D4708.2 a v přechodové oblasti mostů SO 8216 a 8220 na dálnici D47

V prosinci roku 2007 byl uveden do provozu dálniční úsek D4708.2 (Obr. 12) mezi Běloučkem a Ostravou, dlouhý 8,5 km a za cenu 4,3 mld. korun, na kterém se však nedlouho po dokončení stavby na jaře roku 2008 začaly projevovat objemové změny a došlo k deformacím povrchu - ke zvlnění a podélným nerovnostem. Největší objemové změny byly zaznamenány za mostem přes řeku Opavu (SO 8216), kde dosahovaly v průběhu roku 2008 až 120 mm v levém pásu. Navíc docházelo i k deformacím mostních opěr a uzavírání dilatací ([http://www.eurovia.cz/cs/home](http://www.eurovia.cz/cs/home;); <http://www.rsd.cz/>).

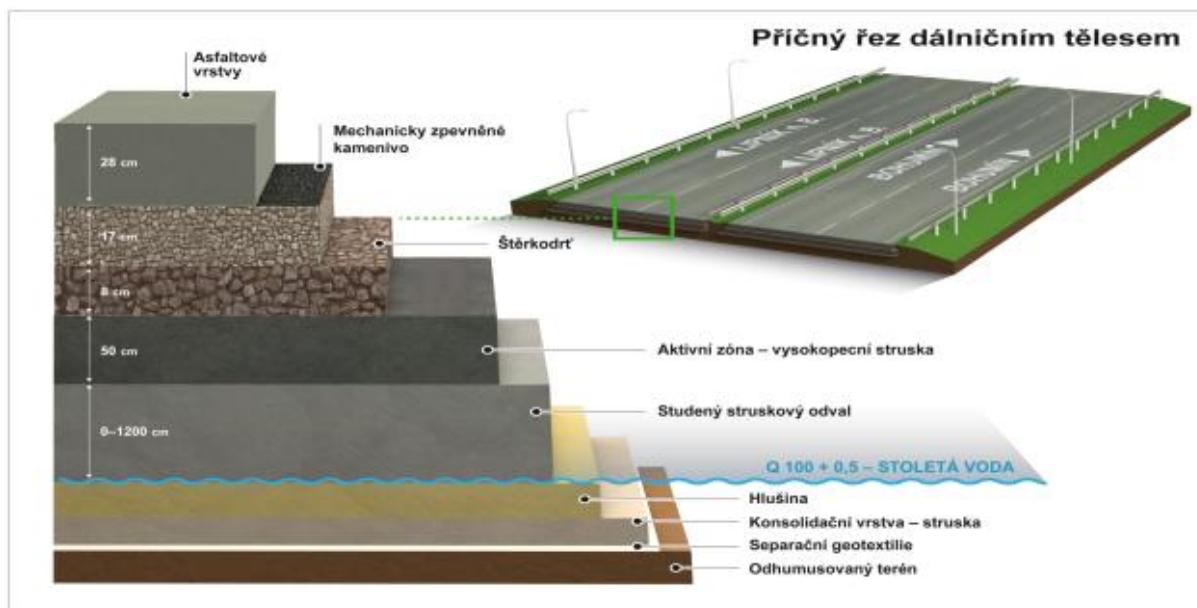


Obr. 12: Mapa zvlněného úseku D4708.2 na dálnici D47 (<http://www.rsd.cz/>).

Hlavní trasa dálnice (průřez znázorňuje Obr. 13) je vedena na násypech tvořených značným množstvím násypového materiálu. S ohledem na to, že vhodného násypového materiálu ze stavebních výkopů v trase byl nedostatek, bylo již v době projektové přípravy zřejmé, že na násypy bude nutno použít druhotné materiály. Investor stavby ŘSD zvažoval použití různých druhotných materiálů z tzv. průmyslových odpadů v oblasti Ostravska, které se nacházejí v co možná nejkratší dojezdové vzdálenosti (<http://www.rsd.cz/>; <http://www.viamoravica.cz/>).

Do násypů stavby dálnice a přechodových oblastí mostů byly doporučeny tyto druhotné materiály: vysokopecní struska z odvalu Hrabová (odpad z výroby železa), studený odval (hutní suť), a uhelná hlušinová sypanina z odvalu dolu Paskov.

Kontrolní zkoušky hutnění na stavbě plně vyhověly požadavkům dokumentace a předpisů (<http://eurovia.cz/cs/home>).



Obr. 13: Příčný řez dálničním tělesem D47 (http://eurovia.cz/download/TK2011_D47_3.pdf).

Poté co se na dálnici D47 v úseku Bělotín Ostrava staly tyto závažné poruchy, začala zhotovitelská stavební společnost Eurovia CS, a.s. společně s ŘSD zkoumat důvody, proč k tomu došlo. Byly stanoveny 3 hypotézy o možných příčinách vlnění: vliv poddolování, podzemní vody nebo neznámý technologický problém. ŘSD vede tedy od doby zjištění závad ohledně tohoto úseku dálnice se společností Eurovia reklamační řízení. V místech zvlnění povrchu dálnice byly provedeny kopané a vrtané sondy. Jejich hodnocením bylo zjištěno, že k poruchám, objemovým změnám a zdvihům dálnice úseku D47 mj. i v přechodové oblasti mostů SO 8216 a SO 8220 došlo vinou použití nevhodných druhotných materiálů (<http://www.eurovia.cz/cs/home>; <http://www.rsd.cz/>).

Složení násypu a přechodové oblasti mostů SO 8216 a 8220 na dálnici D47 bylo zjištěno ve skutečnosti následující:

- uhelná hlušinová sypanina z odvalu Paskov (karbonské stáří, vytěžena z hloubky 800 – 1000 m),
- studený odval (Obr. 14),
- bazická ocelářská struska z odvalu Hrabová v aktivní zóně - 50 cm pod konstrukčními vrstvami (použita vzhledem k nedostatku vysokopecní strusky), frakce 0-90 mm.

Uvedená pochybení způsobená při výstavbě komunikace jsou příčinou tak velkého počtu reklamací, které úřad vůči zhotoviteli uplatňuje. Na zvlněné části dálnice registruje ŘSD 901 dílčích závad, které reklamuje, což je na běžné poměry oproti ostatním stavbám podobné délky vysoce nadprůměrné. Nejvíce vad připadá na mostní objekty (460 reklamací), na hlavní trasu (343) a zbývajících 98 reklamací je vedeno na dálničních mimoúrovňových křižovatkách. Na ilustrační mapě, která by nám tyto závady na dálnici zobrazila, by v daném úseku byla zcela zakrytá (<http://www.rsd.cz/>).

Nejčastější vady na jednotlivých částech komunikace (<http://www.rsd.cz/>):

1) Hlavní trasa:

- podélné nerovnosti (hrboly) v důsledku bobtnání násypového materiálu,
- naklánějící se stožáry veřejného osvětlení,
- trhliny nebo prasklá betonová svodidla,
- podélné a příčné trhliny v jízdnicích i odstavných pruzích,
- výtluky a rozpad povrchu asfaltových vozovek,
- nerovnosti na mostních závěrech,
- trhliny v soklech protihlukových stěn.

2) Mosty:

- sevření mostních závěrů,
- nadměrné sedání opěr (poruchy založení),
- poruchy mostních ložisek,
- koroze nosné konstrukce a příslušenství,
- poruchy odvodnění.

3) Opěrné zdi:

- nadměrné sedání a naklánění opěrných zdí,
- trhliny v betonu,
- rozpad kamene v gabionech,
- poruchy odvodnění vozovky (zatékání do konstrukce opěrné zdi).

Objemové změny v tělese násypů působí všemi směry, a proto nebyly deformace vázány pouze na zdvihy vozovky, ale došlo i k posunu mostních opěr.

Výsledky zkoušek z dubna roku 2012 prokazují, že objemově nestálým materiálem v dálničním tělese je použitý studený odval, který byl předepsán v zadávací dokumentaci stavby. Studený odval je velmi heterogenním materiálem. Příčiny jeho objemových změn jsou změny jeho chemického složení (fázové přeměny minerálů) – hydratace a karbonatace. Studený odval nebyl v době výstavby dálnice vyjmenován v žádném z předpisů, a proto nebyla ani stanovena zkouška ověření jeho objemové stálosti. Při jeho certifikaci se provedla zkouška rozpadavosti v autoklávu dle tehdy platné ČSN 72 1512, ale nebyla zde deklarována žádná limitní hodnota. Použití vedlejších produktů z hutní výroby (studený odval, ocelářská struska, vysokopeční struska) do tělesa násypu a aktivní zóny ani není podmíněno jejich certifikací (pouze splnění požadavků TKP 4 Zemní práce), (Kresta, 2012).



Obr. 14: Objemově nestálý studený odval v přechodové oblasti mostu (Kresta, 2012).

Analýzy materiálů získaných při vykopaných sondách ve dnech 14. – 15. dubna roku 2012, které provedlo ŘSD, prokazují, že ocelářská struska, která byla použita v aktivní zóně násypu, není příčinou zvlnění dálnice D47. Podle výsledků splňuje ocelářská struska stanovené limity. Navíc byla použita v celém úseku dálnice, kdežto zvlnění se objevuje pouze na 600 metrech.

Na vzniklé deformace podle zkoušek také nemá vliv přítomnost uhelné hlušinové sypaniny z dolů, která je objemově stálá. Také vysokoplastické jíly, které tvoří podloží násypového tělesa, podle provedené mineralogické analýzy nejsou náchylné k bobtnání.

V této analýze nebyl zjištěn ani žádný odpad (Kresta, 2012; <http://www.rsd.cz/>).

Na podzim roku 2008 bylo provedeno zbroušení, ale objemové pohyby neustaly a pokračovaly, i když přes zimu 2008/2009 došlo ke zpomalení rychlosti vertikálních deformací.

V roce 2009 byla provedena první etapa oprav soustředěna na výměnu materiálu těsně za opěrou mostu SO 8216. Studený odval byl odtěžen a nahrazen kompenzační vrstvou polystyrénu tloušťky 1 m. Tím se podařilo omezit negativní působení objemových změn na opěry mostů a k dalším deformacím (vodorovným posunům) mostních opěr již nedochází. Vertikální deformace mimo vyměněný materiál však i nadále pokračovaly, i když pomaleji.

Druhá etapa opravných prací byla provedena v roce 2011. I po ní však pohyby neustaly a stále pokračují (Kresta, 2012; <http://www.rsd.cz/>).

Opravné práce za opěrami mostů zahrnovaly (<http://www.rsd.cz/>):

- vytěžení zemin do hloubky 6 m (vrstva studeného odvalu),
- instalace polystyrenových bloků do výkopu,
- vyplnění prostoru mezi polystyrénem a bokem výkopu cementopopílkovou suspenzí,
- pokládka silničního panelu na polystyrén,
- zřízení aktivní zóny a konstrukčních vrstev.

Z dosavadní analýzy vyplývá, že před zahájením výstavby nebyly zkušenosti s použitím studeného odvalu při budování zemních těles takového rozsahu, jako je dálnice. Pozornost byla soustředěna na ekologickou nezávadnost studeného odvalu a jeho zhutnitelnost. Objemová stálost, která byla prokázána zkouškou při certifikaci, se však měnila v čase v souvislosti s postupným odtěžováním zásob a používáním nedostatečně vyzrálého studeného odvalu (Kresta, 2012).

Zkoušky pro ověření objemové stálosti studeného odvalu se v průběhu výstavby neprováděly, protože ze žádného předpisu tato povinnost jednoznačně nevyplývala a nikdo kontrolní zkoušky nepožadoval. Z toho důvodu se nejen zvlnila dálnice D47, ale nastaly i další problémy se stavbami na Ostravsku, kde byl tento materiál použitý (Avion Shopping Park, Mountfield, OC Saller apod.).

Základním přínosem stavby byla rekultivace místní lokality a snížení ekologické zátěže využitím studeného odvalu do násypu dálničního tělesa. Tento projekt ekologické stavby přispívá k sanaci území severomoravského kraje znečištěného průmyslovou činností (historická zátěž). Využití materiálu bylo obdobně předepsáno pro další veřejné stavby realizované v tomtéž regionu ve stejné době (<http://www.rsd.cz/>).

4. PRAKTICKÁ ČÁST

Pro vlastní výzkum vlastností druhotného materiálu jsem zvolila vedlejší produkt spalování hnědého uhlí z tepelné elektrárny Opatovice - strusku. Pro zjištění vhodnosti použití do násypu pozemní komunikace byl na tento druhotný materiál proveden soubor průkazných a kontrolních (výrobních) zkoušek o shodě Technickým a zkušebním ústavem stavebním Praha (dále jen Zkušební ústav), jehož výsledkem bylo vydání certifikátu výrobku (Rubáš, 2010). Mojí úlohou bylo ověřit nebo vyvrátit pravdivost výsledků laboratorních zkoušek prováděných Zkušebním ústavem a vyhodnotit vhodnost materiálu do násypu pozemních komunikací. Na vzorku strusky jsem určovala její *zrnitostní složení* a *relativní ulehlost*. Veškeré mé laboratorní kroky a zařídování zeminy postupovaly podle skript Šimek (1964) a Vaníček (2000) a podle norem ČSN 72 1018, ČSN 73 6133, ČSN EN 1997 – 1, ČSN CEN ISO/TS 17 892 – 4 a ČSN EN ISO 14 688 – 1, 2.

Veškerou dokumentaci (Král, 2010), certifikaci výrobku (Rubáš, 2010) a vzorky strusky pro mé laboratorní zkoušky, které byli odebrány z deponií na odkališti Bukovina, mi poskytl můj školitel. Fotodokumentace strusky (Obr. 15; Obr. 16) pochází z archivu firmy JK Envi s.r.o. (Král, 2010).



Obr. 15: Struska z tepelné elektrárny Opatovice na uložišti (Král, 2010).



Obr. 16: Hutnění opatovické strusky na stavbě. Zkouška zhutnění dynamickou deskou LDD 100 (Král, 2010).

4.1. Zrnitostní zkouška

Zkouška zrnitostního složení se řídí podle normy ČSN CEN ISO/TS 17 892-4. Pro analýzu zrn o velikosti 0,001 až 63 mm se užívají dvě metody: síťový rozbor a hustoměrná (areometrická) zkouška. Výsledky se znázorňují vykreslením čáry zrnitosti, kde souřadnice určitého bodu čáry znázorňuje váhové množství v procentech všech zrn, menších než je rozměr uvedený na ose úseček. Tento způsob má tu výhodu, že můžeme z diagramu hned vyčíst rozdělení zrn do jednotlivých rozmezí, nevýhodou je, že tvar čar nám neudává přímo druh zeminy. Z křivky zrnitosti můžeme zjistit: složení zeminy, pojmenování zeminy, stejnozrnnost, namrzavost atd. (Šimek, 1964; Vaníček, 2000).

4.1.1. Síťový rozbor

Síťový rozbor (prosévací zkouška) – je to metoda, kdy pomocí určitého počtu sít s vhodnými velikostmi otvorů se vzorek prosévá a stanovuje jeho zrnitost. Z prosévání vzorku soustavou sít zjistíme nadsítnou hmotnost pro jednotlivá síta a hmotnost propadu sítem s nejmenšími otvory. Touto metodou můžeme analyzovat zeminy se zrny o velikosti 0,063 až 63 mm (ČSN 72 2071).

Vzorek zeminy jsem navážila a nechala vysušit 24 hodin v peci při 110 °C. Pokud by byl vzorek spečený, musel by se rozdružit tloučením v třecí misce, tuto zeminu jsem však rozdružovat nemusela. Vysušený vzorek jsem opět zvážila a vysypala na připravenou sadu sít navrchu s nejhrubšími otvory až po nejjemnější. Nejhrubší síto jsem použila s otvory 2 mm a nejjemnější s otvory 0,125 mm. Prosévala jsem vodorovnými pohyby celou sadou sít, tak aby částice zeminy byly stále v pohybu. Prosévání jsem dokončila s každým sítem zvlášť s podloženým dnem. Podsítné jsem vždy přidala

k dalšímu jemnějšímu sítu, částice zachycené v sítích jsem šetrně odstranila štětcem a začlenila do nadsítného, zbytky frakcí na jednotlivých sítích jsem zvažila, zaznamenala do (Tab. 6) a vypočítala procento zrn na jednotlivých sítích (Šimek, 1964; Vaníček, 2000).

4.1.2. Hustoměrná (areometrická) zkouška

Touto metodou analyzujeme zeminy se zrny o velikosti 0,001 až 0,125. Tato metoda spočívá na volné sedimentaci suspenze v odměrném válci, kdy se po určité době suspenze rozdělí podle velikostí a ve válci se mění hustota. Při hustoměrném měření jsem pracovala se zrny, které mají hmotnostní podíl frakce 0,125 větší než 5 % (Šimek, 1964; Vaníček, 2000).

Vzorek s velikostí frakce menší než 0,125 jsem vložila do misky a zalila destilovanou vodou a přidala dispergační přísadu (vodní sklo), aby se zabránilo vložkování (sražení), obsah jsem zamíchala a nechala 24 hodin dispergovat. Poté jsem suspenzi rozdužila mixérem, vlila do válce, který jsem položila na vodorovnou podložku, doplnila obsah přesně na 1000 cm³ destilovanou vodou, promíchala a ihned jsem zahájila měření. Hustotu jsem měřila v časech 1,5 min., 5 min., 15 min., 1 hod., 2 hod., 4 hod. a 24 hod. Současně jsem měřila teplotu suspenze a kontrolovala, zda nedošlo k vložkování. Naměřené hodnoty jsem zaznamenala do (Tab. 7) a vyhodnotila měření pomocí nomogramu č. 673 (Šimek, 1964; Vaníček, 2000).

4.1.3. Vyhodnocení zrnitostní zkoušky

Výsledky síťového rozboru jsou uvedeny v (Tab. 6). Při tomto měření došlo k nepatrným nepřesnostem v konečném součtu naměřených hmotností zeminy na jednotlivých sítích po ručním prosévání vůči nasypané hmotnosti vzorku na sadu sít. Důvodem hmotnostních ztrát byla nejspíše zachycená zrna v otvorech sít. Výsledky z hustoměrné zkoušky jsou uvedeny v (Tab. 7). Podíly zrnitostních frakcí jsou zaznamenány v (Tab. 8), zatřídění zeminy dle norem v (Tab. 9) a křivka zrnitosti strusky je vykreslená na (Obr. 17). Na (Obr. 18) je pro porovnání s mými výsledky zrnitostní zkoušky zobrazená křivka zrnitosti vzorku zpracovaná Zkušebním ústavem.

Tab. 6: Výsledky síťového rozboru.

Hmotnost vzorku [g]	99,09						Celkem
Otvor síta [mm]	2,00	1,00	0,63	0,25	0,125	< 0,125	98,87
Nadsítné [g]	27,41	4,67	5,48	15,08	21,92	24,31	
Propad [g]	71,46	66,79	61,31	46,23	24,31		
Propad k celkové navážce Md [%]	72,12	67,40	61,87	46,65	24,53		

Tab. 7: Výsledky hustoměrné (areometrické) zkoušky.

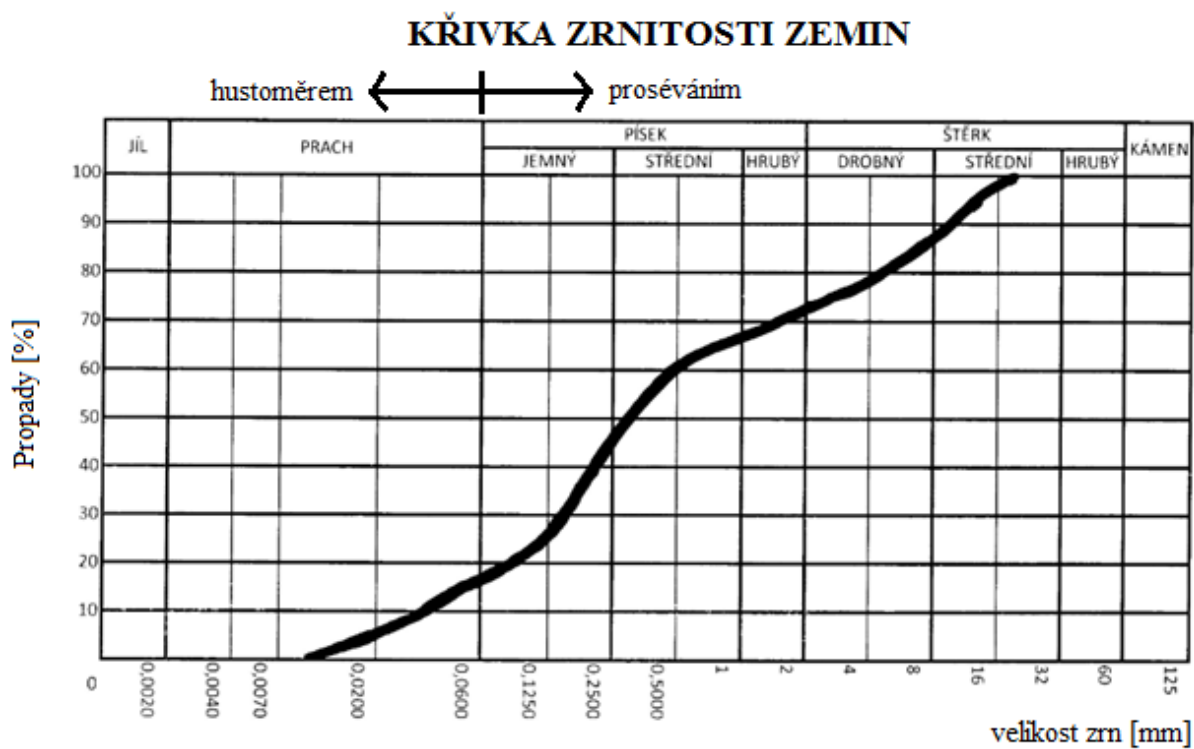
Datum	Absolutní čas	Relativní čas		Teplota [°C]	Oprava na T	Hustoměr čtení	Opravné čtení hustoměru R ₀	Průměr částice dle nomogramu	Procentní zastoupení X %
		minuty	hodiny						
21.4.2012	11:31:30	1,5		22,5	0,5	1,0084	8,9	0,065	15,7412
	11:35	5				1,0071	7,6	0,059	13,3051
	11:45	15				1,0062	6,7	0,041	12,6185
	12:30		1			1,0060	6,5	0,028	6,9243
	13:30		2			1,0059	6,4	0,021	4,3067
	15:30		4			1,0055	6,0	0,012	2,8560
22.4.2012	11:30		24			1,0050	5,5	0,097	1,9932


Tab. 8: Zastoupení frakcí ve vzorku.

Frakce	% zastoupení
Jemnozrnná	17,50
Písek	55,46
Štěrk	27,04

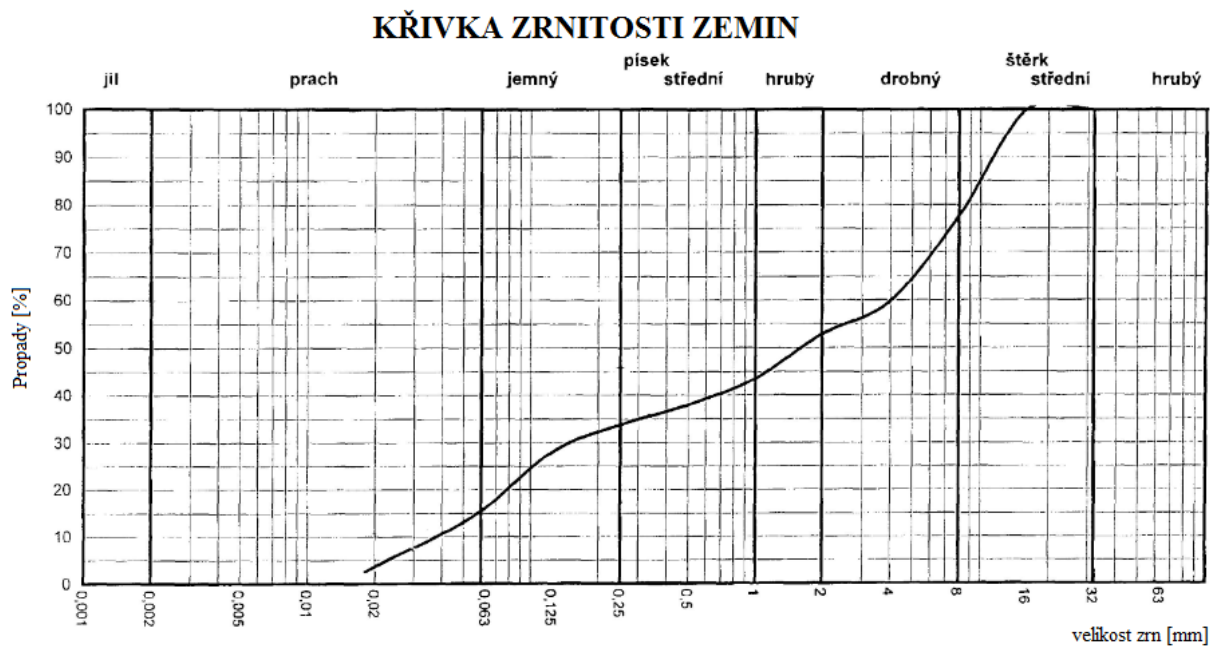
Tab. 9: Zatřídění zeminy dle norem.


Norma	zařazení
ČSN EN 1997 – 1	S 4, S M písek hlinitý
	S 5, S C písek jílovitý
ČSN EN ISO 14 688 - 2	siSa
	clSa



vzorek	křivka	ČSN EN 1997 – 1	ČSN EN ISO 14688 - 2
struska		S 4, S M písek hlinitý S 5, S C písek jílovitý	siSa clSa

Obr. 17: Křivka zrnitosti zeminy.



vzorek	křivka	ČSN EN 1997 – 1	ČSN EN ISO 14688 - 2
struska		S 4, S M písek hlinitý S 5, S C písek jílovitý	siSa clSa

Obr. 18: Křivka zrnitosti zeminy (Rubáš, 2010).

4.2. Zkouška relativní ulehlosti

Zkouška relativní ulehlosti se stanovuje pro maximální objemové hmotnosti hrubozrnnější nesoudržné zeminy (Sa a hrubší) a řídí se podle normy ČSN 72 1018 a ČSN ISO 14 688 – 1, 2. Zkušební ústav, který zjišťoval hodnoty zhutnění strusky, stanovil chybnou metodiku - použil Proctorovu standardní zkoušku (Rubáš, 2010), která se používá pro zeminy soudržné (hlíny a jíly), zatímco struska je zeminou sypkou. Proctorova zkouška se nepoužívá, neboť hodnota maximální objemové hmotnosti není tolik závislá na vlhkosti a na statickém zatížení, ale na vzájemném uložení zrn a vibraci. Proto se v laboratoři stanovují meze odpovídající nejkypřejšímu a nejtěsnějšímu uložení tzv. minimální (n_{min}) a maximální (n_{max}) číslo pórovitosti pro vyjádření charakteristiky stavu sypké zeminy (Vaníček, 2000; ČSN 72 1018; ČSN ISO 14 688 – 2).

Z tohoto důvodu jsem zkoušku relativní ulehlosti vypracovala a to za cílem porovnat výsledky s chybně provedenou Proctorovou zkouškou a stanovit vhodnost či nevhodnost zeminy do násypu pozemních komunikací.

Nesoudržná zemina – je hrubozrnná zemina, zejména písčitá a šterkovitá (GW, GP a G – F), v případě neplastické příměsi jemnozrnná zemina (ČSN 73 6133).

4.2.1. Stanovení maximální pórovitosti (n_{max})

Podle skript Šimek (1964) a Vaníček (2000) jsem zvážila suchou skleněnou kalibrovanou válcovitou nádobu pro objem 50 cm³. Nádobu jsem naplnila vzorkem strusky předem vysušeným až k rysce 50 cm³. K naplňování jsem použila nálevku prodlouženou gumovou rourkou. Vsunula jsem rourku do nádoby a naplnila vzorkem nálevku. Pomalu jsem pozdvihovala nálevku a vzorek se přesypával z nálevky do nádoby. Rourka nálevky nesmí být od povrchu vzorku v nádobě výše než 1 – 2 cm. Poté jsem nádobu se vzorkem zvážila a určila objemovou váhu zeminy ve volném uložení podle vzorce:

$$\gamma_{min} = \frac{Q2 - Q1}{V_o}$$

Q1 . . . váha prázdné nádoby

Q2 . . . váha nádoby se vzorkem zeminy

Vo . . . objem strusky

Tento postup jsem opakovala ještě 2 krát a za výslednou hodnotu objemové váhy strusky v kypřém stavu jsem vzala průměr ze dvou menších výsledků. Ze stanovené minimální objemové váhy jsem stanovila n_{max} ze vzorce:

$$n_{max} = \frac{(\gamma_z - \gamma_{min})}{\gamma_z} \cdot 100$$

γ_z . . . specifická váha zrn zeminy

4.2.2. Stanovení minimální pórovitosti (n_{min})

Podle skript Šímek (1964) a Vaníček (2000) jsem zvažila suchou nádobu s nástavcem o průměru 10 cm a obsahu 1000 ml. Předem vysušenou strusku jsem plnila po malých dávkách do nádoby a těsného uložení, toho jsem dosáhla klepáním na boky nádoby vidlicí a přechováním dřevěným pěchem o stejném průměru, jako je průměr nádoby. Sundala jsem nástavec z nádoby a strusku jsem zarovnávala do úrovně kraje nádoby, jelikož nejméně zhutněná bývá horní vrstva. Zvažila jsem nádobu se struskou a stanovila objemovou váhu zhutněné strusky podle vzorce:

$$\gamma_{max} = \frac{Q2 - Q1}{V_o}$$

Dále jsem stanovila minimální pórovitost ze vzorce:

$$n_{min} = \frac{(\gamma_z - \gamma_{max})}{\gamma_z} \cdot 100$$

4.2.3. Výpočet relativní ulehlosti

Pro výpočet relativní ulehlosti strusky jsem podle skript Šímek (1964) a Vaníček (2000) dosadila své výsledky hodnot minimální a maximální pórovitosti strusky do vzorce:

$$R = \frac{n_{max} - n}{n_{max} - n_{min}}$$

4.2.4. Vyhodnocení zkoušky relativní ulehlosti

Naměřené hodnoty laboratorní zkoušky maximální pórovitosti jsou uvedeny v (Tab. 10) a výsledky minimální pórovitosti v (Tab. 11).

Tab. 10: Výsledky stanovení maximální pórovitosti strusky.

Q 1 (g)	Q 2 (g)	γ_{min} (g/cm ³)	Průměrná hodnota γ_{min} (g/cm ³)	n max [%]
235,04	269,39	0,687	0,682	68,2972
	268,09	0,661		
	269,97	0,699		

Tab. 11: Výsledky stanovení minimální pórovitosti strusky.

Q 1 (g)	Q 2 (g)	γ_{\max} (g/cm ³)	n min [%]
266,90	1169,06	0,9022	58,3664

Po dosazení laboratorně zjištěných hodnot maximální a minimální pórovitosti do vzorce relativní ulehlosti jsem dospěla k výsledku:

$$R = 0,51$$

4.3. Závěr praktické části

Dle normy ČSN EN 1997 – 1 jsem zařadila vzorek strusky na základě svých výsledků zkoušky zrnitosti do třídy S 4 a S 5 symbolem S M a S C podle trojúhelníkového diagramu. Jde tedy o písek hlinitý nebo jílovitý. Podle normy ČSN EN ISO 14 688 – 2 zemina patří do tříd siSa (hlinitý písek) nebo clSa (jílovitý písek). Podle skript Šimek (1964) a Vaníček (2000) se tato struska řadí mezi středně ulehlou zeminu. Pro bližší určení, zda jde o písek hlinitý nebo jílovitý, by bylo třeba udělat zkoušku plasticity, kterou norma nepředepisuje, tu jsem neprováděla. Podle zkoušek Zkušebního ústavu je výsledkem písek hlinitý (Rubáš, 2010).

Dle normy ČSN CEN ISO/TS 17 892 – 4 a ČSN 73 6133 se jedná o materiál s plynulou křivkou zrnitosti, který se jeví jako vhodný do podloží a vhodný až velmi vhodný do násypů pozemních komunikací i pro stabilizaci, jelikož se u něho projevují nižší deformace. Jemné částice vyplňují póry mezi hrubšími částicemi, zatímco u stejnozrné zeminy póry mezi přibližně stejnými zrny zůstávají volné (Vaníček, 2000).

Křivka zrnitosti (Obr. 17) z mé laboratorní zkoušky se při porovnání s křivkou stanovenou Zkušebním ústavem (Obr. 18) nepatrně liší a to v rozmezí velikosti frakce 0,25 až 3 mm. Procentuální podíl zrn šterku naměřil Zkušební ústav o cca 20 % více a zrn písku o cca 15 % méně. I přes tuto odlišnost se naše výsledky zařazení zeminy shodují, tedy vychází stejné složení a pojmenování zeminy (Tab. 9).

Zkušební ústav při stanovování pórovitosti postupoval podle ČSN EN 13 286 – 47 a použil Proctorovu standardní zkoušku, zhotovil také i další zkoušky, které pro strusku stanovily příznivé deformační vlastnosti (dobrá zhutnitelnost), které jsou způsobené vhodným složením a nízkou vlhkostí. Při zabudování do silničních násypů se tedy musí počítat s přikrápěním. Zkušební ústav na základě vyhovujících výsledků stanovil vhodnost zeminy do násypů pozemních komunikací, pro zásypy vodovodních a kanalizačních potrubí a pro násypy pod podlahy hal (Rubáš, 2010).

Zkouška pórovitosti pro nesoudržné zeminy se však podle ČSN 72 1018 a ČSN ISO 14 688 – 2 stanovuje zkouškou relativní ulehlosti, která mi po laboratorních výpočtech a dosazení do vzorců vyšla v rozmezí 0,3 – 0,6, zemina je tedy středně ulehlá podle rozdělení Šimek (1964) a Vaníček (2000). Struska se podle norem řadí do zemin, které tvoří dobrou základovou půdu (násypy pozemních komunikací) a nehrozí zde prosednutí (72 1018; ČSN ISO 14 688 – 2).

I přes použití špatnou metodiku pro stanovení pórovitosti daného typu zeminy Zkušebním ústavem vychází z obou našich výsledků z měření vhodnost použití strusky do násypů pozemních komunikací.

5. ZÁVĚR

Při výstavbě komunikací lze použít vhodně některé recykláty jako náhrada za přírodní stavební materiál. Jedná se zejména o materiál ze stávajících rušených komunikací, dále pak o strusky, popely a popílky a některé demoliční materiály. Důležitým ekonomickým kritériem jsou dopravní vzdálenosti mezi zdrojem recyklátu a prováděnými úseky komunikací. Dochází tak k úspoře primárních surovin a snížení záboru ploch, kam by se musely ukládat odpady. Používáním těchto materiálů zlepšujeme tvorbu a ochranu životního prostředí a to i v oblasti činnosti silničního stavitelství.

Druhotné suroviny jako alternativní zdroj surovin pro zemní práce budou i v budoucnu hrát podstatnou roli a jejich význam bude stoupat.

Závady na výstavbě dálnice na Ostravsku jsou zřejmě způsobeny použitím nevhodných hmot a nedodržením technologických postupů.

6. LEGISLATIVA

ČSN 72 1006 *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*, prosinec 1998

ČSN 72 1018 *Laboratorní stanovení relativní ulehlosti nesoudržných zemin*, duben 1970

ČSN 72 1086 *Stanovení drtitelnosti keramických a stavebních materiálů*, květen 1986

ČSN 72 2030 *Chemický rozbor vysokopecní strusky. Všeobecné požadavky*, červen 1992

ČSN 72 2041 - 1 *Chemický rozbor ocelářské strusky. Část 1: Všeobecné požadavky*, červenec 1992

ČSN 72 2071 *Popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení*, říjen 2011

ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic*, říjen 2004

ČSN 73 6114 *Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování*, duben 1995

ČSN 73 6121 *Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody*, březen 2008

ČSN 73 6124-1 *Stavba vozovek - Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody*, březen 2008

ČSN 73 6126-1 *Stavba vozovek - Nestmelené vrstvy – Část 1: Provádění a kontrola shody*, červen 2006

ČSN 73 6126-2 *Stavba vozovek - Nestmelené vrstvy – Část 2: Vrstva z vibrovaného štěrku*, červen 2006

ČSN 73 6133 *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*, březen 2010

ČSN 73 6161 *Stanovení přilnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu*, květen 2000

ČSN 73 6244 *Přechody mostů pozemních komunikací*, srpen 2010

ČSN CEN ISO/TS 17 892 – 4 (72 1007) *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4 Stanovení zrnitosti zemin*, duben 2005

ČSN CEN ISO/TS 17 892 - 12 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí*

ČSN EN 206-1 (73 2403) *Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*, září 2001

ČSN EN 932 – 3 *Zkoušení všeobecných vlastností kameniva*

ČSN EN 933-11 (72 1193) *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 11: Klasifikace složek hrubého recyklovaného kameniva*, září 2009

ČSN EN 1097 – 3 (721194) *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva*, srpen 1999

ČSN EN 1991 – 2 (73 6203): Eurokód 1 *Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*, červenec 2005

ČSN EN 1997 – 1 (73 1000): Eurokód 7 *Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla*, září 2006

ČSN EN 12 620 + A1 (72 1502) *Kamenivo do betonu*, listopad 2008

ČSN EN 13 043 (72 1501) *Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*, duben 2004

ČSN EN 13 242+A1 *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace*

ČSN EN 13 285 *Nestmelené směsi – Specifikace*

ČSN EN 13 286 – 47 *Stanovení poměru únosnosti zemin (CBR)*

ČSN EN 14 227-12 *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 12: Zeminy upravené struskou*

ČSN EN 14 227 – 13 *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 13: Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy*, březen 2008

ČSN EN 14 227-14 *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 14: Zeminy upravené popílkem*

ČSN EN 14 475 (73 1045) *Provádění speciálních geotechnických prací – Vyztužené zemní konstrukce*, květen 2006

ČSN EN ISO 14 688 – 1 (72 1003) *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 1: Pojmenování a popis*, červen 2003

ČSN EN ISO 14 688 – 2 (72 1003) *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 2: Zásady pro zařizování*, březen 2005

TP 76 *Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace*, červen 2009

TP 93 *Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů*, leden 2011

TP 94 *Úprava zemin*, červen 2009

TP 138 *Užití struskového kameniva do pozemních komunikací*, březen 2011

TP 150 *Údržba a opravy vozovek pozemních komunikací obsahujících dehtová pojiva*, leden 2011

TP 170 *Navrhování vozovek pozemních komunikací*, listopad 2004

TP 208 *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*, červenec 2009

TP 209 *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za horka*, červenec 2009

TP 210 *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*, prosinec 2010

Nařízení vlády č. 312/2005 Sb., *kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky*

Vyhláška č. 61/2010 Sb., *kterou se mění vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání*

Vyhláška č. 104/1997 Sb., *kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích*, duben 2007

Vyhláška č. 381/2001 Sb., *kterou se stanoví Katalog odpadů*, říjen 2001

Vyhláška 383/2001 Sb., *o podrobnostech nakládání s odpady*, říjen 2001

Zákon č.13/1997 Sb., *o pozemních komunikacích*, leden 1997

Zákon č. 17/1992 Sb., *o životním prostředí*, prosinec 1991

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, únor 2002

Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, únor 2001

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, květen 2001

7. POUŽITÁ LITERATURA

Hosford, W.F., Caddell, R.M., 2007: *Metal forming: mechanics and metalurgy*. Cambridge University Press, New York, 312 s.

Ježková, J., Mondschein, P., Dlouhá, E., 2006: *Dopravní stavby*. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 151 s.

Kuraš, M., 1994: *Odpady, jejich využití a zneškodňování*, Český ekologický ústav, Praha, 241 s.

Lancellotta, R., 1995: *Geotechnical engineering*. A.A.Balkema, Rotterdam, 436 s.

Loveček, Z., Nebeský J., Mikoláš, J., Bezděk, J., Kasalický, V., Procházka, J., Vojáček, K., Svozil, P., Tichý, J., Zapletal, V., Bartoš, L., Fila, J., Ondřej, J., Vlk, J., Šrámek, J., Kočí, J., Pavelka, V., Soroka, A.S., Iljinskij, S.V., Tkačenko, L.J., Zaremba, P., Ahnert, Pohl, H., Prey, E., Tlustý, M., 1989: *Zlepšování kvality životního prostředí ve stavební činnosti*. Dům techniky ČSVTS, Praha, 190 s.

Momber, A.W., 2005: *Hydrodemolition of concrete surfaces and reinforced concrete structures*. Elsevier, Oxford, 269 s.

Murthy, V.N.S., 2003: *Geotechnical engineering: principles and practices of soil mechanics and foundation engineering*. Dekker, New York, 1029 s.

Raclavská, H., Matýsek, D., Zamarský, V., 1995: *Hodnocení vlastností odpadních produktů z energetiky ve vztahu k jejich bezpečnému ukládání*. Sb. mezinárodní konference VŠB – TU Ostrava, sekce 3 – geologie, Ostrava, 281 s.

Rozsypal, A., 2008: *Inženýrské stavby: řízení rizik*, Bratislava, 174 s.

Růžicková, Z., Srb, J., Vidlář, J., 1989: *Druhotné suroviny. Nové zdroje průmyslu*, Praha, 193 s.

Seidlerová, J., 2009: *Metody hodnocení metalurgických odpadů*. Repronis: VŠB – TUO, Ostrava, 119 s.

Šimek, J.: *Metodické pokyny pro dálkové studium z mechaniky zemin*. Vydavatelství ČVUT, Praha 1964

Vaníček, I.: *Mechanika zemin*, Skripta FSV ČVUT, 2000

Vidlář, J., Srb, J., Růžicková, Z., 1983: *Popílky – jejich úprava a využití*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 100 s.

Winkler, G., 2010: *Recycling construction & demolition waste: A LEED – Based Toolkit*. McGraw – Hill, New York, 233 s.

Články v časopisech, na konferencích, výzkumné zprávy, dokumentace z archivu, normy, technické podmínky, vyhlášky, nařízení vlády a pod.:

ČSN 72 1018 *Laboratorní stanovení relativní ulehlosti nesoudržných zemin*, duben 1970

ČSN 72 2030 *Chemický rozbor vysokopeční strusky. Všeobecné požadavky*, červen 1992

ČSN 72 2041 - 1 *Chemický rozbor ocelářské strusky. Část 1: Všeobecné požadavky*, červenec 1992

ČSN 72 2071 *Popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení*, říjen 2011

ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic*, říjen 2004

ČSN 73 6133 *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*, březen 2010

ČSN 73 6244 *Přechody mostů pozemních komunikací*, srpen 2010

ČSN EN ISO 14688 – 1 (72 1003) *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 1: Pojmenování a popis*, červen 2003

ČSN EN ISO 14688 – 2 (72 1003) *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 2: Zásady pro zařizování*, březen 2005

ČSN CEN ISO/TS 17 892 – 4 (72 1007) *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4 Stanovení zrnitosti zemin*, duben 2005

ČSN EN 1997 – 1 (73 1000): Eurokód 7 *Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla*, září 2006

ČSN EN 13 043 (72 1501) *Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*, duben 2004

ČSN EN 13 242+A1 *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace*

Král, J., 2010: *archiv firmy JK Envi, s.r.o., Praha*

Kresta, Fr, 2012.: *Seminář „Fámy a fakta o dálnici D47“*, Praha

Mahdalová, I., 2006: *Přednášky - Spodní stavba pozemní komunikace*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 10 s.

Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2012: *Druhotné suroviny jsou konkurenceschopné*, Praha, 12 s.

Herle, V., Kalný, M., Novotná, I., Záruba, J., Jerónimo, F.C., Novotný, J., Zdražil, K., Kresta, F., Němec, P., 2012: *Geotechnický seminář Přechody mostů pozemních komunikací*. Sekce ŠSS Zemní práce - ARCADIS Geotechnika a.s. a Česká silniční společnost, Praha, 50 s.

Herle, V., Vyhnálek, J., Vafek, M., Kafoňková, J., Andres, J., Krejčí, M., Lyko, A., 2012: *Silniční obzor – roč. 73*. Česká silniční společnost, Praha, 28 s.

Odpady, 2011: *Stavební a demoliční odpady*. Roč. 21, Praha, 25 s.

Otýs, J., Otýsová, H., Hettlerová, P., Otýs, J., 2010: *archiv firmy AZS 98, s.r.o.*, Praha

Proceedings of the 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics, 2011: *Harmonising rock engineering and the environment*, Beijing, China, 796 s.

Rada pro druhotné suroviny a odpady, 2011: *Musíme hledat náhrady za primární zdroje*, Praha

Rubáš, P., 2010: *Certifikát výrobku č.204/C5/2010/040-036118*. Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., Praha

Rypl, K., Duchek, P., Kučera, J., 2011: *dokumentace firmy Silnice group a.s.*, Praha

Števula, M., Tydlitát, V., Zákoutský, J., Černý, R. a kol., 2011: *Beton – Technologie, konstrukce, sanace – Mosty a dopravní stavby*. BETON TKS, s.r.o., Praha srpen 2011

TP 93 *Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů*, leden 2011

TP 94 *Úprava zemin*, červen 2009

TP 138 *Užití struskového kameniva do pozemních komunikací*, březen 2011

TP 170 *Navrhování vozovek pozemních komunikací*, listopad 2004

TP 210 *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*, prosinec 2010

Vyhláška č. 61/2010 Sb., kterou se mění vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění vyhlášky č. 341/2008 Sb., a vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů, únor 2010

Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, říjen 2001

Wathurst, 2011: *Demolition and Recycling International*, KHL Group

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, únor 2002

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, květen 2001

Internetové zdroje:

http://eurovia.cz/download/TK2011_D47_3.pdf

<http://www.eurovia.cz/cs/home>

<http://www.rsd.cz/>

<http://www.viamoravica.cz/>